

Analyse et concaténation du volet énergie des SRADDET

Avec le concours financier de :

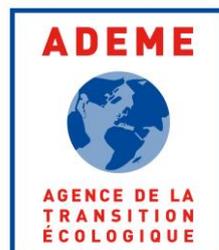


Table des matières

Résumé	5
Contexte de l'étude.....	6
1.1. Travail effectué lors de la phase 1	6
1.2. Travail effectué lors de cette seconde phase.....	6
Rappels sur la méthodologie élaborée en phase 1	8
2.1. Effort de rigueur sur le calcul des indicateurs clefs	8
2.2. Modélisation fine du système énergétique par vecteurs, <i>via</i> un tableur.....	9
2.3. Approche « territoriale » vs. « empreinte »	10
Difficultés rencontrées lors de la collecte de données, et stratégies adoptées	11
3.1. Des documents souvent moins quantitatifs que les SRCAEs	13
3.2. Horizons de temps et année de démarrage hétérogènes	13
3.3. Peu de préoccupation des itinéraires énergétiques entre sources primaires et utilisation finale	14
3.4. Méthodologies hétérogènes et opacité sur le transport.....	16
3.5. Autres difficultés sur des points plus spécifiques.....	16
Résultats	18
4.1. Analyse de la cohérence des résultats avec les données nationales actuelles	18
4.2. Compatibilité de la somme des objectifs régionaux avec les objectifs nationaux	19
4.3. Conformité de l'affichage région 100 % EnR 2050 avec la trajectoire énergétique effective.....	26
4.4. Equilibre offre / demande par vecteurs.....	28
4.5. Solidarités inter-régionales	32
4.6. Analyse : cohérence des objectifs, règles et mesures du volet énergie des SRADDET	34
Synthèse	41
5.1. Problèmes d'hétérogénéité en termes de méthode et de données.....	41
5.2. Des résultats régionaux globalement plus ambitieux que les objectifs nationaux à court terme, et inversement à long terme.....	41
5.3. De forts déséquilibres dans les vecteurs	42
5.4. Un besoin de dialogue inter-régional	42
5.5. Mesures d'accompagnement : renforcer, détailler et assurer la cohérence au sein des SRADDET	43
Perspectives d'amélioration de notre analyse.....	44
Annexe 1 : Cartes des productions régionales d'EnR par filière	45
7.1. Production de combustible biomasse solide (GWh PCI).....	45
7.2. Production d'agrocarburants (GWh PCI).....	45
7.3. Production de biométhane (GWh PCI)	46
7.4. Production d'électricité d'origine renouvelable (GWh).....	46
7.5. Production de chaleur d'origine renouvelable (GWh).....	50
Annexe 2 : Commentaires sur les données et hypothèses effectuées pour chaque région	54
8.1. Auvergne-Rhône-Alpes.....	54
8.2. Bretagne.....	54
8.3. Corse.....	55

8.4.	Hauts de France	55
8.5.	Ile-de-France.....	56
8.6.	Normandie.....	57
8.7.	Occitanie.....	58
8.8.	Pays de la Loire.....	58
8.9.	Sud	58
Annexe 3 : Etat d'avancement des SRADDET		60
Annexe 4 : Description de l'outil PRES.....		61
10.1.	Organisation générale.....	61
10.2.	Données d'entrée régionales.....	61
10.3.	Module de calcul régional	63
10.4.	Module de synthèse nationale.....	71
Annexe 5 : Comparaison des SRADDET avec le scénario négaWatt 2017		72
Liste des tableaux.....		74
Liste des figures.....		74
Liste des équations.....		75

Résumé

Comme de nombreux autres acteurs, l'Association négaWatt a pu observer l'absence d'homogénéité dans la méthodologie suivie pour l'élaboration des anciens schémas régionaux climat air énergie (SRCAE), conduisant à l'impossibilité de les comparer et de les agréger pour les confronter aux objectifs nationaux. Sur la base de ce constat, l'Association négaWatt a produit et publié en 2019, avec le soutien de quatre Régions, une proposition de [cadre méthodologique harmonisé d'élaboration du volet énergie des SRADDET](#).

La présente analyse constitue l'étape suivante. Elle a pour objet d'une part d'évaluer la robustesse et l'homogénéité des méthodologies suivies, d'autre part de comparer les résultats obtenus avec les objectifs nationaux. Enfin, elle évalue la cohérence entre les objectifs affichés par les Régions, et les règles et mesures associées.

Le premier constat que révèle cette étude est à nouveau **l'absence d'homogénéité dans les méthodologies suivies**, auxquelles viennent s'ajouter **des différences dans les horizons de temps** atteints par ces exercices prospectifs, ainsi que **l'impasse faite sur la prospective du secteur nucléaire, et fossile dans une moindre mesure**. Cette observation est renforcée par **un manque de cohérence entre les objectifs affichés et ceux réellement atteints, engendré par un manque de rigueur méthodologique**. C'est particulièrement criant pour l'objectif affiché de région à énergie positive ou de région 100 % renouvelable : si cet objectif est effectivement atteint dans certains cas lorsque l'on compare la production globale d'énergie renouvelable sur le territoire à la consommation dans son ensemble, il ne l'est plus du tout si on intègre une analyse plus fine, vecteur par vecteur. Cette approche plus détaillée met en lumière des productions souvent très excédentaires d'électricité renouvelable, et à l'inverse **des importations nécessaires de gaz ou de carburants liquides, souvent d'origine fossile**. De cette observation découle des résultats sensiblement différents, en fonction de la méthode de calcul retenue, lorsque l'on compare les résultats des SRADDET aux objectifs nationaux.

L'agrégation des SRADDET montre quant à elle que **la somme des volontés régionales ne permet pas d'atteindre les objectifs nationaux fixés à l'horizon 2050**. Ce décalage s'explique en partie par le renforcement récent de l'ambition au niveau national, avec l'inscription de l'objectif de neutralité carbone dans la loi énergie-climat de 2019, même si cette cible était néanmoins déjà connue puisqu'annoncée par les pouvoirs publics dès 2017. Il s'explique aussi par le manque de lisibilité pour chaque collectivité de sa place dans le système énergétique national ; pour que l'agrégation des SRADDET puisse être cohérente avec les objectifs nationaux, **un dialogue devrait pouvoir s'instaurer entre les différentes régions**, permettant d'ajuster si nécessaire les trajectoires régionales pour garder le cap vers les objectifs nationaux. Il s'explique enfin - et une nouvelle fois - par un manque de rigueur qui n'a pas permis de mettre en lumière, dans ces exercices régionaux, **les nécessaires importations d'énergie (souvent d'origine fossile) découlant des trajectoires proposées**. Enfin, si des domaines comme le nucléaire ou les fossiles semblent tacitement reconnus comme hors champ de la prospective régionale, **il conviendrait que l'Etat clarifie sa stratégie de long-terme pour ces filières**, sans laquelle la concaténation des SRADDET ne peut qu'être incertaine.

Cette étude vise enfin à s'assurer de la cohérence entre les objectifs affichés par les SRADDET et les mesures et recommandations associées. Pour ne pas rester d'éternels vœux pieux, les objectifs doivent en effet être assortis de mesures précises, même si l'échelon régional n'est pas nécessairement le mieux doté en compétences relatives à l'énergie. Le constat établi est celui d'un manque aussi bien qualitatif que quantitatif : si quelques exceptions nuancent légèrement le propos, **les mesures sont dans bien des cas à la fois insuffisantes et trop peu précises, voire inexistantes, pour permettre à la Région d'atteindre ses objectifs**. En outre, de nombreuses actions envisagées par les Régions viennent en contradiction avec les objectifs affichés de réduction des gaz à effet de serre : soutien à la filière aéronautique et aux aéroports, renforcement de l'attractivité logistique, développement d'infrastructures routières, etc.

Pour combler différentes lacunes des exercices régionaux, notamment dans les données publiées, des hypothèses ont dû être formulées sur un certain nombre d'indicateurs. Pour renforcer sa robustesse, **cette étude devra par la suite s'accompagner d'analyses de sensibilité** permettant de davantage mesurer l'impact de ces hypothèses sur les résultats.

Consacrée essentiellement au volet énergie des SRADDET, elle devra également, pour être plus exhaustive, se renforcer sur le volet climat ; l'analyse devra notamment permettre une approche tous gaz à effet de serre qui fait défaut aujourd'hui, en intégrant les enjeux d'évolution des systèmes agricoles, sylvicoles et alimentaires.

1.

Contexte de l'étude

1.1. Travail effectué lors de la phase 1

Par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) adoptée en août 2015, l'Etat a formulé plusieurs objectifs à atteindre au niveau national à l'horizon 2030 et 2050, par exemple la division par deux de la consommation d'énergie finale à l'horizon 2050. La loi Énergie Climat de novembre 2019 et le projet de révision de la Stratégie nationale bas-carbone vont encore plus loin, avec un objectif de neutralité carbone en 2050.

Par ces engagements récents et plus anciens (division par 4 des émissions de gaz à effet de serre, engagements européens, etc.), l'Etat a donc besoin de formuler des indicateurs et un *reporting* pour montrer où la France se situe dans la réalisation de ses objectifs ; il est donc susceptible d'exiger des Régions une remontée d'informations.

Par ailleurs, en application de la loi NOTRe, les SRCAE établis par les Régions entre 2012 et 2014, sont remplacés par un volet énergie intégré dans les nouveaux SRADDET (Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires), qui sont en cours de publication et d'approbation.

Lors de la réalisation des précédents SRCAE, l'absence de définition d'un cadre interrégional harmonisé a conduit à une impossibilité méthodologique de les comparer, ou de les agréger au niveau national pour vérifier leur cohérence vis-à-vis des engagements nationaux de la France (objectifs 3x20 européens et facteur 4 sur les GES), et leur articulation par rapport aux actions nationales.

L'Association négaWatt a pris l'initiative de proposer un travail d'élaboration d'une méthodologie et d'un outil permettant d'éviter ces écueils. Il a pour but :

- De garantir une compatibilité minimale des exercices régionaux, une base de comparaison entre régions, et la mise en exergue de leurs **complémentarités** : données fondamentales pour une bonne politique publique nationale de l'énergie, et pour travailler à une bonne coordination des échelons de décision et de mise en œuvre,
- De rendre possible une agrégation nationale, permettant de vérifier la convergence avec les objectifs nationaux, et de donner ainsi une **cohérence** aux plans régionaux.
- De mettre en évidence la nécessaire **solidarité** entre Régions, afin que celles qui ont le meilleur potentiel en énergies renouvelables échappent à la tentation du repli et développent leurs capacités pour en faire bénéficier les Régions moins favorisées.

Avec le soutien financier de quatre régions (Bourgogne-Franche Comté, Centre-Val de Loire, Grand-Est et Nouvelle-Aquitaine), une première phase a été réalisée en 2018, consistant à produire ce cadre méthodologique. Il a depuis été publié et est disponible sur <https://www.negawatt.org/Cadre-harmonise-pour-le-volet-energie-des-SRADDET>. En parallèle, le traitement des données issues des SRADDET de ces quatre régions a été réalisé.

1.2. Travail effectué lors de cette seconde phase

L'étude dans laquelle s'inscrit le présent rapport, vise à :

- Compléter l'inventaire des schémas énergie des SRADDET dans les 9 régions non encore traitées en phase 1, et insérer leurs données dans l'outil dédié, après mise au bon format, et recherche des

données manquantes. En l'absence de SRADDET disponible, les données du document équivalent le plus récent¹ sont prises en compte

- Effectuer une agrégation et une synthèse nationale de la totalité des régions métropolitaines :
 - Analyse du positionnement du résultat agrégé des 13 Régions par rapport aux objectifs nationaux
 - Analyse des flux d'énergie renouvelable échangés entre régions.
- Effectuer une analyse qualitative et quantitative des mesures proposées dans chacune des 13 régions. Sans être exhaustive, cette analyse évaluera les mesures proposées aussi bien du point de vue de leur mise en œuvre opérationnelle que de leur cohérence avec les trajectoires retenues dans les différents SRADDET.

¹ PADDUC pour la Corse, SDRIF pour l'Île de France, et SRCAE pour la Région Pays de Loire dont le SRADDET n'est pas publié au moment de la remise des résultats de cette étude

2.

Rappels sur la méthodologie élaborée en phase 1

Nous proposons ci-dessous un résumé des grandes lignes de la méthodologie élaborée en phase 1 du projet. Pour plus de détail, merci de vous référer au document disponible sur le [site internet de l'Association négaWatt](#).

2.1. Effort de rigueur sur le calcul des indicateurs clefs

Pour assurer la cohérence des résultats d'une région à l'autre, et comparer les ambitions nationales avec l'agrégation de l'échelon régional de façon rigoureuse, l'analyse du volet énergie des SRADDET est effectuée à partir des données brutes des différents filières de production d'énergie et des consommations détaillées de chaque secteur de consommation, ventilées selon les différentes grandes familles de vecteurs². Les objectifs affichés dans les SRADDET peuvent donc différer, parfois de façon importante, avec nos propres calculs, effectués à partir de ces données brutes (et de leurs lacunes, comme on le verra par la suite).

Parmi les différents indicateurs, le « taux d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale brute » est celui qui nécessite le plus d'attention. Cette consommation étant dite « brute », elle doit intégrer les pertes des réseaux de transport et distribution, ainsi que la chaleur et l'électricité consommés par la branche énergie de l'industrie. Mais surtout, trois variantes de ce taux sont rencontrées :

$$\frac{\sum_{\text{vecteurs}}(\text{consommation finale brute ENR du vecteur})}{\sum_{\text{secteurs}}(\text{consommation finale brute du secteur})}$$

Équation 1 - Formule du taux d'énergie renouvelable dans la consommation finale, d'après directive 2009/28/CE

Il s'agit de la valeur utilisée au niveau national, comprise en 0 % et 100 % (on ne peut consommer plus d'énergies renouvelables (EnR) que d'énergie de façon générale). Le calcul nécessite d'être vigilant aux doubles comptes : une énergie renouvelable convertie en un autre vecteur ne doit pas être comptabilisée deux fois. Par ailleurs, cela oblige à tenir compte du fait que les différentes ressources renouvelables ne sont pas équivalentes, et qu'elles peuvent être utilisées pour satisfaire certaines demandes énergétiques et pas d'autres.

Cela nécessite donc une modélisation fine des flux d'énergie depuis les sources primaires, jusqu'à leurs usages finaux.

$$\frac{\sum_{\text{filières}}(\text{productions ENR primaires locales})}{\sum_{\text{secteurs}}(\text{consommation finale brute du secteur})}$$

Équation 2 - Formule « alternative » du taux d'EnR dans la consommation finale : le ratio production primaire / consommation finale

Par construction, la formule ci-dessus (qui s'apparente plus un ratio qu'un taux), peut logiquement dépasser 100 %. La valeur de 100 % est d'ailleurs beaucoup plus facile à atteindre qu'avec la définition précédente, car la formule fait fi des vecteurs, ainsi que des pertes de transformation et d'acheminement sur les réseaux.

Cet indicateur, nettement plus facile à calculer et moins exigeant, est souvent préféré, bien que les objectifs politiques affichés correspondent *a priori* plus à la première définition, voire à une définition encore plus exigeante - l'autosuffisance en EnR locales :

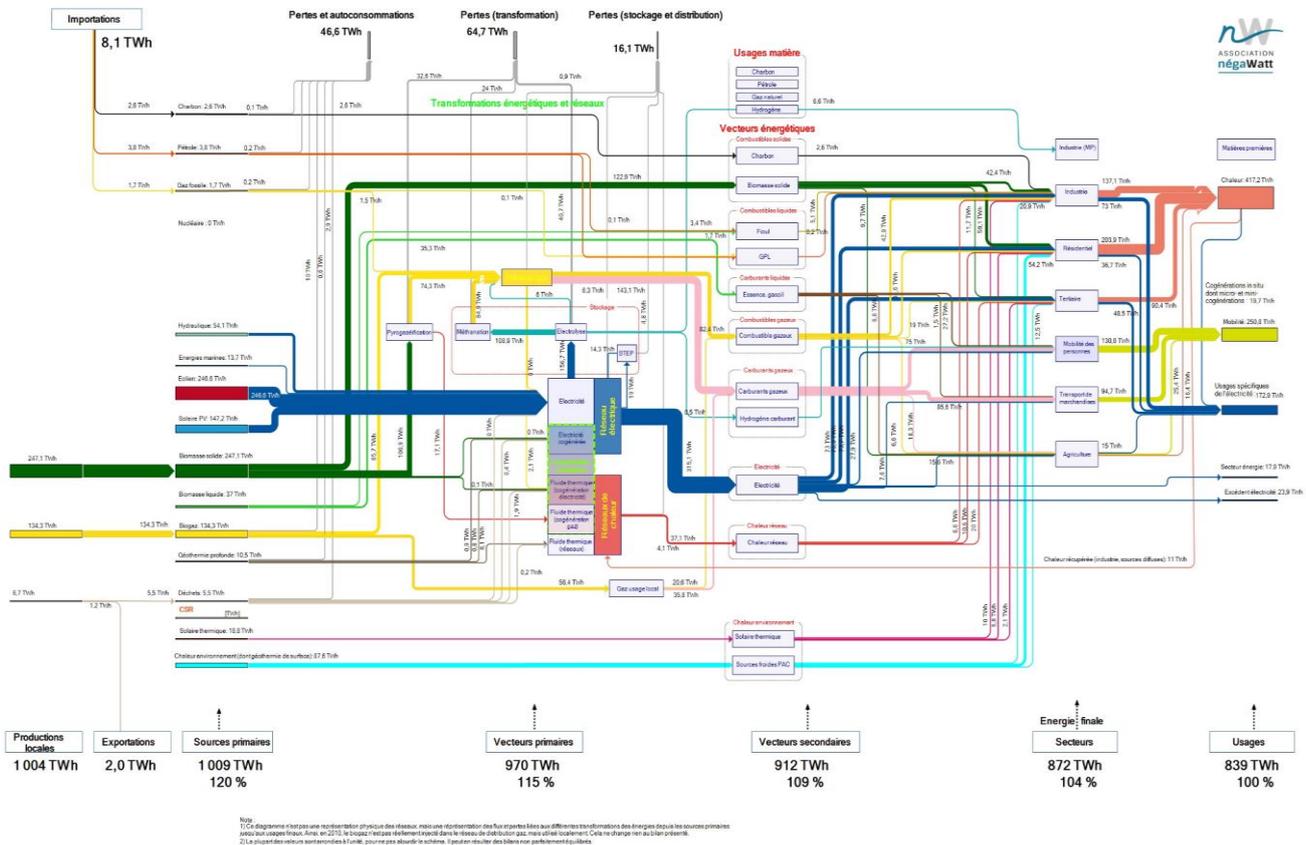
$$\frac{\sum_{\text{vecteurs}}(\text{consommation finale brute ENR d'origine locale du vecteur})}{\sum_{\text{secteurs}}(\text{consommations finales brutes})}$$

Équation 3 - Formule du taux d'énergie renouvelable d'origine locale dans la consommation finale

² Electricité, Carburants liquides, Carburants gazeux, Combustibles gazeux, Combustibles liquides, Combustibles solides, Chaleur, Chaleur environnement

2.2. Modélisation fine du système énergétique par vecteurs, *via* un tableur

Afin de mener à bien le travail d'analyse, et de pouvoir calculer les indicateurs de la façon la plus rigoureuse possible, comme expliqué plus haut, un tableur de modélisation simplifié a été produit. Ce tableur vise à reconstituer le système énergétique régional complet, ainsi que son évolution au cours de la prospective, en croisant les différentes filières de production d'énergie mobilisées sur le territoire et à l'extérieur de celui-ci, avec la demande finale des différents secteurs de consommation.



Ce croisement de la demande et de la production *via* les vecteurs, permet ainsi de faire des bilans précis d'importations et d'exportations pour chaque vecteur, à l'échelon régional, puis national, et ainsi d'évaluer la bonne complémentarité des régions entre elles, ainsi que la cohérence entre les hypothèses de production d'une part, et celles sur la consommation d'autre part.

Il s'agit toutefois d'un calcul simplifié de comparaison de la production avec la consommation de chaque vecteur, qui ne porte pas sur :

- Les flux d'import / export simultanés au sein d'une même famille de vecteurs (par ex. au sein de la biomasse solide, certaines régions pouvant à la fois importer des granulés et exporter des bûches). Le calcul est effectué en balance nette : chaque famille de vecteur est soit exportatrice, soit importatrice.
- L'équilibre offre/demande au pas horaire (pour le réseau électrique), ou saisonnier (pour le gaz)

Ces points mériteraient d'être examinés dans un second temps³, mais sont au-delà des exigences actuelles des SRADDET, et les données actuellement disponibles ne permettent pas de faire les calculs.

³ A ce sujet, RTE est en train de mener une expérimentation d'équilibre horaire du réseau électrique au niveau de la région Occitanie, en lien avec leur SRADDET en cours de finalisation

2.3. Approche « territoriale » vs. « empreinte »

De façon générale, on examine le système énergétique de la région et ses émissions associées en considérant son périmètre physique ; *a contrario* d'une approche « empreinte », qui vise à déterminer l'impact énergétique induit par les activités des habitants de la région.

Cette dernière approche peut à la fois générer des consommations hors du territoire, et à l'inverse soustraire les consommations sur le territoire des visiteurs extérieurs. Elle pose des défis méthodologiques conséquents pour garantir une agrégation des régions sans doubles comptes, ni omissions ; sans compter que les organismes régionaux, tels que les OREGES et AASQA, ne fonctionnent pas selon ce principe pour produire leurs données.

Cela a donc des répercussions sur le calcul des émissions de gaz à effet de serre, qui s'effectueront exclusivement à partir des consommations d'énergie primaire fossile sur le territoire (SCOPE 1), et non à partir des émissions indirectes de vecteurs importés comme l'électricité (SCOPE 2), ou encore d'énergie grise dans les produits de consommation importés (SCOPE 3).

Pour les autres indicateurs (comme le taux de réduction de la consommation d'énergie finale, ou le taux d'EnR dans la consommation finale), on examinera toujours les activités du territoire, mais au niveau SCOPE 2 (c'est-à-dire que les importations de vecteurs seront bien prises en compte, mais pas l'empreinte des produits importés).

Selon ce même principe, la comptabilisation des consommations du secteur « transport » suivra une approche « cadastrale », et non « gravitaire », tels que définis dans ce schéma :

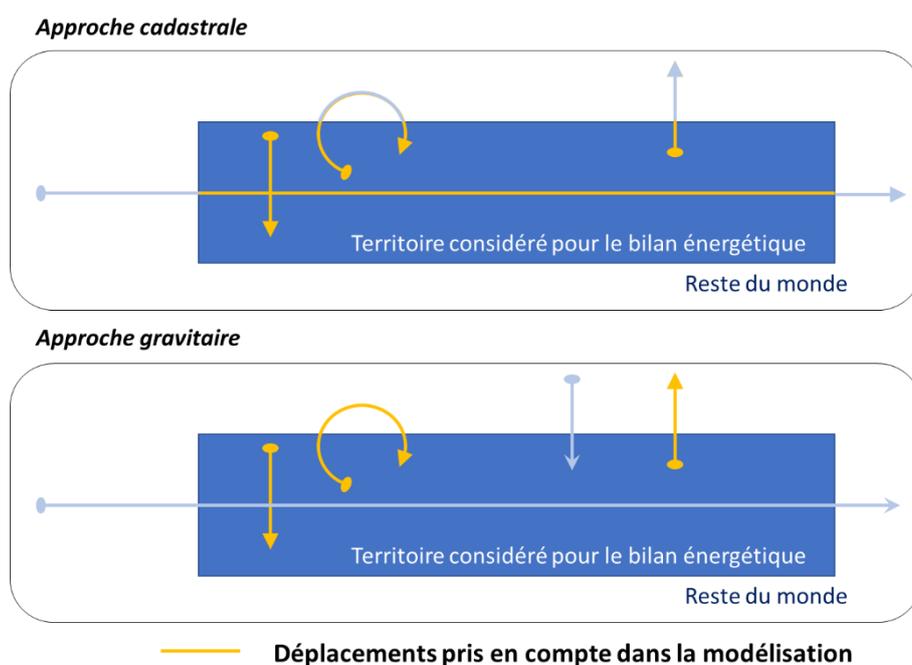


Figure 2 - Modes de calcul des émissions polluantes pour les transports

3.

Difficultés rencontrées lors de la collecte de données, et stratégies adoptées

Un grand nombre de données manquantes ou incomplètes est à déplorer, comme indiqué de façon synthétique dans la Figure 3. Les difficultés spécifiques à chaque région, et chaque donnée, sont explicitées en annexe.

La méthodologie proposée n'ayant été publiée que lorsque les SRADDET étaient en phase de finalisation, on ne peut que constater des écarts très significatifs entre la méthodologie proposée et les exercices effectués. C'est particulièrement flagrant pour les 9 régions étudiées lors de cette seconde phase du projet.

Nous allons lister ci-après les principales difficultés rencontrées et les principes suivis pour y remédier, l'objectif étant malgré tout de dégager de premiers enseignements, au-delà du simple besoin d'harmonisation des SRADDET à l'avenir. Certaines des hypothèses que nous avons effectuées ont *a priori* une influence importante sur les résultats ; il est donc suggéré de procéder à des analyses de sensibilité sur les différents paramètres, lors de phases ultérieures de cette présente étude.

De façon générale, les hypothèses effectuées suivent les principes de :

- **Conservativité** : chaque fois que l'utilisation d'hypothèses est nécessaire, l'hypothèse doit être conservatrice. Par exemple la part d'un vecteur qui proviendrait d'un périmètre hors France (et donc non calculable à partir des SRADDET) est supposée constituée à 100 % d'énergie fossile.
- **Cohérence** : dès qu'une série temporelle de données est utilisée, elles doivent être comparables dans le temps, sans décrochage inexplicable.

Donnée	Energie d'origine / secteur	PACA	AURA	BRETAGNE	NORMANDIE	HAUTS-DE-FRANCE	CORSE	ILE-DE-FRANCE	OCCITANIE	PAYS DE LA LOIRE
Consommation totale énergie finale et primaire fossile										
Emissions directes de GES par le secteur énergétique										
Production locale d'énergie primaire fossile	Charbon, pétrole, gaz naturel									
Production locale d'énergie primaire renouvelable	Biomasse solide									
Production locale d'énergie primaire renouvelable	Biomasse liquide									
Production locale d'énergie primaire renouvelable	Biogaz (biométhane injecté dans le réseau)									
Production locale d'électricité et de chaleur renouvelable	Biogaz (cogénération)									
Production locale d'électricité renouvelable	Géothermie HT									
Production locale d'électricité	Hydro									
Production locale d'électricité	Energies marines									
Production locale d'électricité	Eolien									
Production locale d'électricité	PV									
Production locale d'électricité	Nucléaire (centrale thermique)									
Production locale d'électricité	Charbon (centrale thermique)									
Production locale d'électricité et de chaleur	Charbon (cogénération)									
Production locale d'électricité	Pétrole (centrale thermique)									
Production locale d'électricité et de chaleur	Pétrole (cogénération)									
Production locale d'électricité	Gaz naturel (centrale thermique)									
Production locale d'électricité et de chaleur	Gaz naturel (cogénération)									
Production locale d'électricité	Biomasse solide (centrale thermique)									
Production locale d'électricité et de chaleur	Biomasse solide (cogénération)									
Production locale d'électricité et de chaleur	Déchets (cogénération)									
Production d'hydrogène	Electricité (electrolyse)									
Production de méthane de synthèse	Biomasse (pyrogazéification)									
Production de chaleur pour réseaux	Chaleur fatale									
Production de chaleur pour réseaux	Géothermie Profonde									
Production de chaleur pour réseaux	Déchets									
Production de chaleur pour réseaux	Biomasse									
Production de chaleur pour réseaux	Gaz Naturel									
Production de chaleur pour réseaux	Pétrole									
Production de chaleur pour réseaux	Charbon									
Conso d'énergie finale, par vecteur	Résidentiel									
Conso d'énergie finale, par vecteur	Tertiaire									
Conso d'énergie finale, par vecteur	Transport									
Conso d'énergie finale, par vecteur	Industrie									
Conso d'énergie finale, par vecteur	Agriculture									
Conso d'énergie finale, par vecteur	Industrie_énergie									
Conso d'énergie finale, par vecteur	Consommation non énergétique									
Production annuelle	Solaire thermique									
Production annuelle	Chaleur environnement									
Methodologie suivie pour la consommation du secteur transport (gravitaire vs. cadastral)										
Prise en compte du transport maritime & aérien (oui / non, dans quelle mesure)										
Hypothèses démographiques										

Légende
En cours de vérification
Donnée disponible
Donnée manquante ou disponible partiellement, impact modéré estimé
Donnée manquante ou disponible partiellement, impact élevé estimé

Figure 3 - Etat des lieux de la collecte de données

3.1. Des documents souvent moins quantitatifs que les SRCAEs

A *contrario* des précédents SRCAEs, les SRADDET sont souvent moins quantifiés dans leurs objectifs et trajectoires, ainsi que sur l'état des lieux. On trouve la plupart du temps un ensemble de mesures, et des objectifs globaux de développement des énergies renouvelables et de réduction de la consommation, mais à un niveau très agrégé. Par exemple sur la demande, on manque de détails sur la part relative des différents vecteurs énergétiques et/ou secteurs.

Cela provient sans doute du caractère très transversal du SRADDET, qui couvre des thématiques très vastes au-delà de l'énergie. Cela est limitant pour avoir une vision claire du système énergétique régional et de son évolution proposée.

Il a donc souvent été nécessaire de revenir aux SRCAEs pour combler certaines lacunes dans les données, notamment sur l'état des lieux.

3.2. Horizons de temps et année de démarrage hétérogènes

Une difficulté majeure est l'absence d'homogénéité sur les années de démarrage et surtout de fin des exercices prospectifs.

En dehors des régions n'étant pas tenues de produire un SRADDET (Corse et Ile-de-France), l'année de référence de la prospective est le plus souvent fixée à 2014 ou 2015. Il a donc été choisi de s'aligner sur l'année la plus tardive (2015) pour l'analyse de l'agrégation.

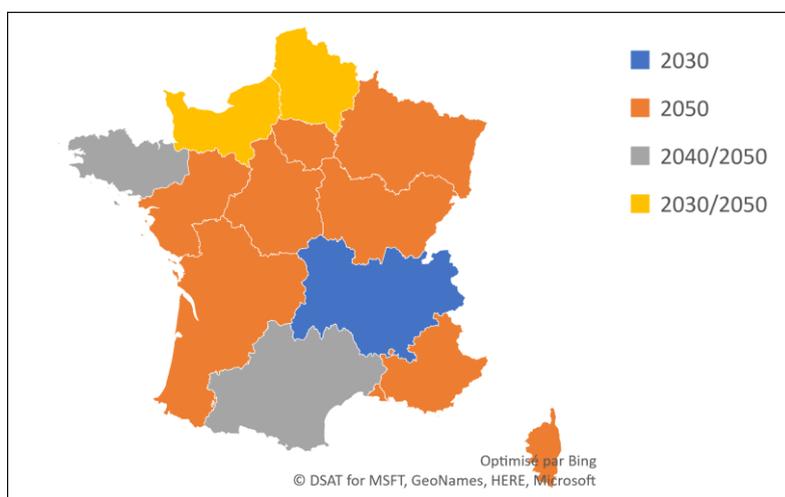


Figure 4 - Horizon des prospectives

L'hétérogénéité des horizons est beaucoup plus problématique. La plupart des régions mènent leur exercice jusqu'à 2050, mais la région Auvergne-Rhône-Alpes a fait le choix de s'arrêter en 2030⁴, tandis que les régions Hauts-de-France et Normandie ont fixé des objectifs à 2050 sur la consommation, mais à 2030 seulement pour la production de renouvelables. Le SRADDET Occitanie a fixé un horizon à 2040, mais il s'appuie néanmoins sur un scénario énergétique à horizon 2050 ; les données à cette échéance ont donc pu être obtenus. De même, le SRADDET breton s'appuie sur un exercice de concertation (la « Breizh COP ») à horizon 2040, mais le SRADDET lui-même poursuit bien ses trajectoires énergétiques jusqu'en 2050.

De son côté, [le décret issu de la loi NOTRe](#), précisant le contenu des SRADDET, indique bien une obligation de pousser l'exercice jusqu'à 2050⁵.

⁴ Suite à enquête publique et avis de l'autorité environnementale, une version amendée du SRADDET Auvergne-Rhône-Alpes « Ambition Territoires 2030 » a toutefois été produite par la suite, pour prolonger la prospective à l'horizon 2050.

⁵ "Les objectifs quantitatifs de maîtrise de l'énergie, d'atténuation du changement climatique, de lutte contre la pollution de l'air sont fixés par le schéma à l'horizon de l'année médiane de chacun des deux budgets carbone les plus lointains adoptés en application des articles L. 222-1-A à L. 222-1-D du code de l'environnement et aux **horizons plus lointains mentionnés à l'article L. 100-4 du code de l'énergie**." Ce dernier horizon étant actuellement fixé à 2050.

Pour pouvoir mener une comparaison des objectifs régionaux avec les engagements nationaux, nous avons tenté de combler les lacunes pour atteindre 2050, en suivant différentes approches selon le type de données : l'extrapolation (maintien de l'effort), ou le statu quo.

Le détail de ces choix, par région et par type de données, est fourni en annexe.

3.3. Peu de préoccupation des itinéraires énergétiques entre sources primaires et utilisation finale

L'autonomie énergétique en 2050 à partir de renouvelables est souvent l'objectif visé (cf. chapitre 4.3 ci-dessous), mais en suivant la « mauvaise » définition du taux de renouvelable (cf. chapitre 2.1 ci-dessus), qui cherche à faire correspondre la demande finale totale en GWh, avec la production primaire en EnR, sans se préoccuper des « chemins énergétiques » entre les deux. De cela découle un certain nombre de lacunes.

Tout d'abord pour les filières renouvelables non électriques :

- Le mode de valorisation du biogaz (cogénération ou injection biométhane) est rarement précisé / quantifié
- La biomasse solide est souvent étudiée sous l'angle de sa consommation, sans aborder la partie production locale de combustible, et donc les besoins d'import ou d'export. Ce point est toutefois plus explicite dans le « Schéma Régional Biomasse » (SRB), qui a parfois été utilisé en complément du SRADDET.

Les technologies de stockage et de conversion d'énergie d'un vecteur vers un autre (pyro-gazéification, méthanation, électrolyse...) sont également rarement mentionnées, et encore moins quantifiées, ce qui pose des problèmes d'équilibre offre/demande par vecteur, comme on le verra plus loin.

Par ailleurs la prospective énergétique se focalise sur les énergies renouvelables, au détriment des filières fossiles & nucléaire. Rien n'est dit sur le parc de centrales nucléaires ; quant aux fossiles, ils sont parfois mentionnés dans l'état des lieux, mais leurs perspectives d'évolution ne sont que très rarement définies, que ce soit au niveau de la production d'énergie (centrales thermiques, cogénération...) ou de la consommation finale (carburants et combustibles fossiles).

Enfin, la demande finale n'est pas toujours ventilée par secteurs d'activités, et encore plus rarement par vecteurs. Plus rare encore sont les projections d'évolution des parts de marché des différents vecteurs.

En conséquence, il a fallu faire des hypothèses :

- Sur la structure de la consommation finale par vecteurs.
 - Les données des OREGES fournissent un état des lieux des parts de marché actuelles des différentes énergies.
 - Les quelques hypothèses d'évolution explicitées dans le SRADDET sont utilisées ; dans le cas contraire nous avons pris l'hypothèse conservatrice d'un maintien des parts de marché. Cette hypothèse impacte défavorablement le développement des motorisations alternatives (GNV, électrique à batterie ou hydrogène), qui n'est que rarement quantifié de façon significative.
 - Le taux d'incorporation d'agrocarburants dans les carburants liquides n'est chiffré que dans une seule des régions (Grand-Est, qui vise 95 % en 2050). En l'absence d'hypothèses pour les autres régions, nous avons opté pour les valeurs suivantes :

Année	Valeur	Référence
2014	6 %	
2020	7 %	Directive 2018/2001 : plafond pour les agro-carburants de 1 ^{ère} génération
2030	14 %	Directive 2018/2001 : part d'EnR dans les transports au sens large (dont 0 % d'agro-carburants de 1 ^{ère} génération)
2050	50 %	Cible SNBC2 (pour l'aérien et le maritime seulement !), comprenant les carburants de seconde génération

Tableau 1 - Taux d'incorporation par défaut des agro-carburants dans les carburants liquides

- Sur les **installations de transformation d'énergie** du territoire (centrales électriques thermiques et cogénération, chaudières sur réseaux de chaleur...)
 - Pour reconstituer l'état des lieux, nous avons comblé les manques à partir d'échanges avec les régions, ainsi qu'avec différentes sources de données hors SRADDET : [bilans régionaux](#) du SDES, bilans RTE pour les centrales raccordées au réseau d'électricité, enquêtes du SNCU sur les réseaux de chaleur, et données issues des OREGES.
 - En l'absence d'hypothèses sur l'évolution de ce parc d'installations, des choix par défaut ont été effectués :
 - Concernant le nucléaire, le *statu quo* a été choisi par défaut (maintien / renouvellement des capacités installées dans chaque région). Pour les 4 régions de la phase 1, une baisse du nucléaire était prévue, ce qui au global permet un alignement avec l'objectif de 50 % de nucléaire dans le mix électrique en 2035, visé par la Loi Energie Climat de 2019 (la part atteinte étant ici de 47 % en 2035). La proportion de nucléaire reste néanmoins élevée jusqu'en 2050 (à 33 %), ce qui pose un problème de surproduction électrique comme on le verra plus loin.
 - Les 4 centrales électriques au charbon restantes⁶ sont supposées fermées d'ici 2022, conformément à la Loi Energie Climat 2019.
 - On suppose que les centrales au fioul vont progressivement disparaître également, à un rythme moins rapide toutefois.
 - En revanche les centrales au gaz, en l'absence d'hypothèse, sont supposées se maintenir au niveau actuel
- Sur les **rendements** moyens des différentes technologies de conversion, sauf dans les rares cas où ils pouvaient être déduits de chiffres de consommation d'énergie primaire et finale. Dans certains cas, les données issues de RTE ou du SNCU ont été choisies.

Technologie	Conversion	Rendement 2015	Rendement 2050
Electrolyse	Electricité => H ₂	68 %	80 %
Méthanation	H ₂ => CH ₄	78 %	78 %
Pyrogazéification	Biomasse => CH ₄	40 %	70 %
Centrale électrique thermique ⁷	Charbon => électricité	35 %	35 %
Centrale électrique thermique	Fioul => électricité	33 %	33 %
Centrale électrique thermique	Méthane => électricité	44 %	44 %
Centrale électrique thermique	Uranium => électricité	33 %	33 %
Centrale électrique thermique	Biomasse => électricité	40 %	40 %
Cogénération	Divers => électricité	35 %	35 %
Cogénération	Divers => chaleur	50 %	50 %

⁶ Dans les régions Pays de la Loire (Cordemais), Normandie (Le Havre), Grand Est (Emile Huchet) et PACA (Provence)

⁷ Ces valeurs sont issues des bilans RTE

Technologie	Conversion	Rendement 2015	Rendement 2050
Chaudière réseau ⁸	sur Déchet => chaleur	79 %	79 %
Chaudière réseau	sur Charbon => chaleur	84 %	84 %
Chaudière réseau	sur Fioul => chaleur	83 %	83 %
Chaudière réseau	sur Méthane => chaleur	81 %	81 %
Chaudière réseau	sur Biomasse => chaleur	79 %	79 %

Tableau 2 - Hypothèses de rendement par défaut

- Sur les pertes de transport et distribution des différents réseaux :
 - Réseau électrique : **7 %** (5 % distribution, 2 % transport)
 - Réseau gaz : **2 %**
 - Réseaux de chaleur : évolution de **11 %** en 2015 à **10 %** en 2050

3.4. Méthodologies hétérogènes et opacité sur le transport

Comme expliqué au chapitre 2.3, deux approches existent pour la comptabilité des consommations du secteur transport. Dans les SRADDET examinés, le choix de l'une de ces approches n'est pas souvent explicite, et porte sur l'une ou l'autre des deux méthodes, ce qui pose des problèmes évident pour la concaténation des résultats. Il est toutefois probable que l'approche prépondérante reste « cadastrale », car c'est le plus souvent ainsi que procède la comptabilité régionale effectuée par les OREGES / AASQA.

Par ailleurs, il n'est pas toujours clair si les secteurs aérien et maritime sont inclus, et dans quelle mesure. Les AASQA, ayant une mission de surveillance de qualité de l'air, comptabilisent les consommations du secteur aérien au décollage et à l'atterrissage (en-dessous de 900m d'altitude). Dans un premier temps nous n'avons pas cherché à corriger ces données, nous ferons éventuellement des simulations pour essayer de réallouer les consommations du secteur aérien et maritime au niveau national, auprès des différentes régions, afin d'avoir une vision d'ensemble plus fidèle des consommations réelles du secteur.

3.5. Autres difficultés sur des points plus spécifiques

- Les hypothèses d'évolution démographique, déterminantes, ne sont pas toujours clairement spécifiées.
- Les énergies primaires sont parfois exprimées en pouvoir calorifique supérieure (PCS), parfois en pouvoir calorifique inférieur (PCI), et souvent de façon indéterminée. Nous avons fait le choix de tout ramener en PCI.
- Les capacités installées pour les EnR électriques ne sont pas toujours mentionnées, ce qui ne permet pas une comparaison avec les objectifs de certains documents nationaux, comme la PPE.
- Les émissions de gaz à effet de serre en 1990, et la consommation d'énergie primaire fossile en 2012, nécessaires pour calculer des taux de réduction, ne sont souvent pas disponibles au niveau de chaque région. Nous avons donc dû parfois effectuer des « rétopolations » à partir de séries historiques du SDES et des OREGES. Une analyse de la cohérence avec les données nationales est effectuée plus loin.
- Les consommations du secteur « branche énergie de l'industrie » ne sont explicitées qu'en région PACA, probablement pour des questions de secret statistique. Pour ne pas introduire de biais entre les régions, ce secteur n'a pas été inclus dans les différents calculs effectués et présentés dans cette

⁸ Ces valeurs sont issues des enquêtes SNCU

analyse. Il faudrait pouvoir le réintroduire pour le calcul de la plupart des indicateurs, qui doivent en principe en tenir compte.

- De même, les « consommations non énergétiques de l'industrie » (usage matière) ne sont jamais mentionnées, alors qu'elles seraient en principe nécessaire pour le calcul du taux de réduction de la consommation finale.
- Comptabilisation de la « chaleur environnement » (source froide des pompes à chaleur et solaire thermique) :
 - Elle n'est pas souvent intégrée dans la consommation finale, même si on retrouve en général la partie solaire thermique dans les chiffres de production EnR.
 - La méthode d'estimation de la source froide des PAC (quand elle est faite) n'est pas explicite, notamment le coefficient de performance choisi.
- Les filières « nouvelles » (énergies marines hors éolien, pyro-gazéification, hydrogène etc.) ne sont souvent pas quantifiées, lorsqu'elles sont mentionnées.
- Une part de la consommation de chaque territoire provient d'importations de certains vecteurs ; il a donc fallu estimer la part renouvelable de ces importations, qui n'est logiquement pas explicitée par les SRADDET. Nous sommes partis du principe que le mix des importations correspond au mix national, reconstitué à partir de la somme des productions des différentes régions, sauf pour les importations provenant de l'étranger (qui sont, considérées 100 % fossiles, pour rester conservateur).

4. Résultats

4.1. Analyse de la cohérence des résultats avec les données nationales actuelles

Afin de vérifier la cohérence des données récupérées, nous avons effectué une comparaison des chiffres nationaux compilés par différents organismes (SDES, RTE, etc.), avec leurs équivalents reconstitués à partir de la concaténation des différentes régions :

Indicateur	Energie	Année	Valeur calculée	Valeur ref.	Ecart	Source
Consommation finale (TWh)	Electricité	2015	453	475	▬ -5%	RTE
Production (TWh)	Electricité	2015	545	546	▬ 0%	RTE
Production (TWh)	Electricité nucléaire	2015	420	417	▬ 1%	RTE
Consommation finale (TWh PCI)	Carburants liquides	2015	526	564	▾ -7%	INSEE / CPDP
Consommation finale (TWh PCI)	Méthane	2015	386	324	▴ 19%	SDES
Consommation finale (TWh PCI)	Total	2012	1752	1791	▬ -2%	SDES
Consommation finale (TWh PCI)	Total	2015	1702	1730	▬ -2%	SDES
Consommation primaire (TWh PCI)	Fossiles	2012	1350	1448	▾ -7%	SDES
Consommation primaire (TWh PCI)	Fossiles	2015	1184	1347	▾ -12%	SDES
Consommation primaire (TWh PCI)	Total	2015	2734	2912	▾ -6%	SDES
Emissions CO ₂ énergie (Mt _{eq} CO ₂)	Fossiles	1990	443	381	▴ 16%	SDES
Emissions CO ₂ énergie (Mt _{eq} CO ₂)	Fossiles	2017	286	327	▾ -13%	SDES

Tableau 3 - Comparaison des valeurs agrégées avec des références nationales pour quelques indicateurs

On constate ainsi que certains indicateurs montrent des écarts assez faibles, notamment les chiffres de production d'électricité (total ou d'origine nucléaire), et la consommation finale totale sur l'année de référence (2015). L'écart reste également faible pour cette dernière, sur l'année 2012, qui est utilisée comme référence pour l'objectif de réduction de la consommation fixée dans la loi TEPCV.

En revanche, on note des écarts significatifs dans la consommation finale de deux vecteurs : les carburants liquides semblent sous-évalués par les régions (-7 %), tandis que la consommation de gaz méthane est fortement surévaluée (+19 %). Une part de ces écarts peut provenir du fait que certaines données régionales proviennent d'exercices anciens (SRCAEs), et la consommation a pu dévier fortement des trajectoires anticipées. C'est néanmoins un point qui serait à approfondir.

La consommation primaire d'énergies fossiles montre une petite sous-évaluation, qui peut toutefois s'expliquer par des périmètres différents : la valeur SDES comprend *a priori* les consommations non énergétiques. La valeur calculée pour 2012, également utilisée comme référence pour un objectif de la loi TEPCV, est donc jugée crédible.

En revanche, on note un très fort écart sur les émissions de GES liées à l'énergie : +16 % sur la valeur 1990, et -13 % pour 2017 ! L'écart pour 1990 résulte du manque de données publiques sur les émissions régionalisées en 1990⁹, les rétopolations effectuées pour chaque région à partir de données beaucoup plus récentes aboutissant manifestement à une valeur totale erronée. Cette valeur est pourtant cruciale car elle est utilisée comme référence pour l'objectif de réduction des GES. Afin de ne pas produire une impression faussée de baisse drastique des émissions (avec un point de départ artificiellement élevé), nous proposons de corriger cette valeur en partant du chiffre SDES 1990 et en lui appliquant l'écart de -13 % identifié sur 2017 (écart qui peut se justifier en partie par l'absence de l'outre-mer), ce qui aboutit alors à **333** Mt_{eq}CO₂.

⁹ Un travail de l'ADEME, mené par Beyond Ratings, a tenté de reconstituer ces données. Les chiffres n'étaient toutefois pas accessibles au moment de la réalisation de cette étude.

4.2. Compatibilité de la somme des objectifs régionaux avec les objectifs nationaux

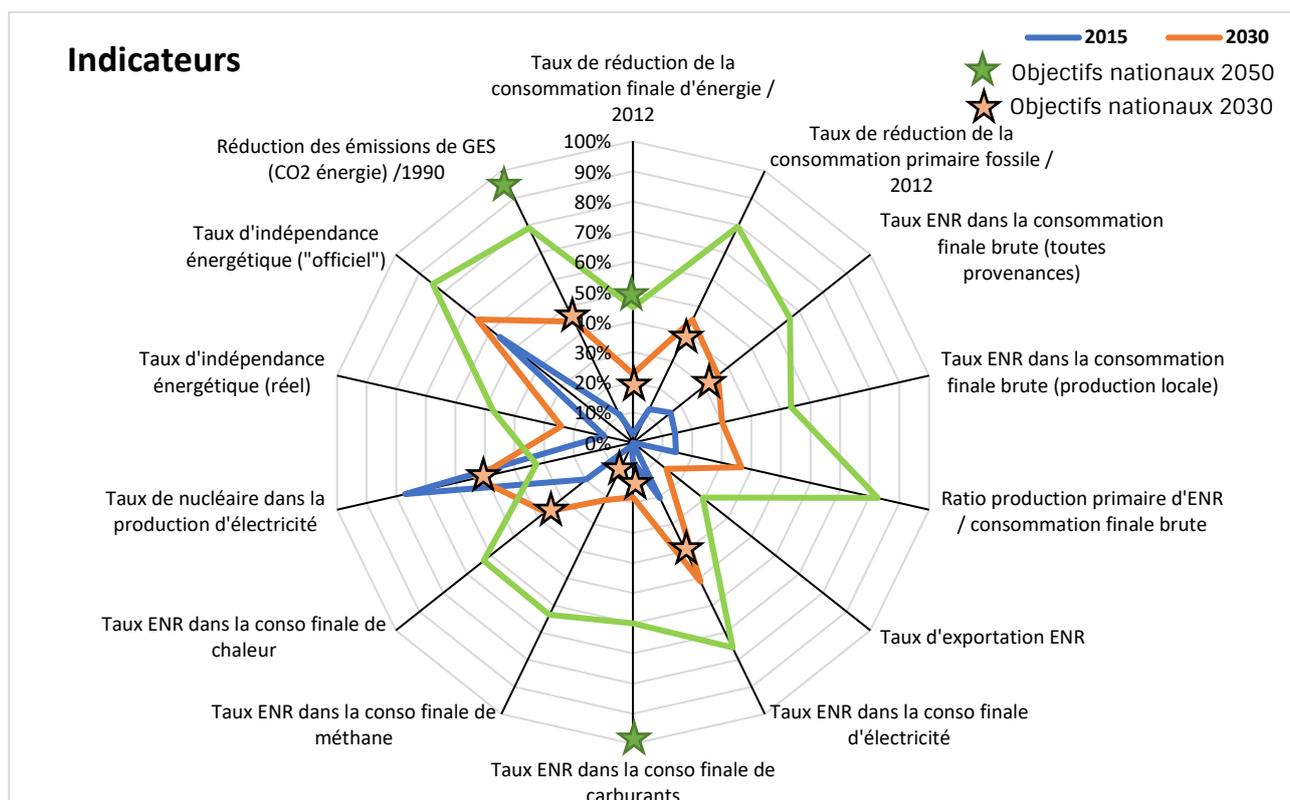


Figure 5 - Synthèse des résultats sur les 13 régions

Les indicateurs ci-dessus, calculés à partir de la reconstitution des 13 régions, sont à mettre en regard des objectifs à court, moyen et long terme détaillés ci-dessous. Les formules de calcul des différents indicateurs sont spécifiées en Annexe 2.

4.2.1. A court terme (2023-2028)

Indicateur	2023	2028 ¹⁰
Taux de réduction de la consommation finale d'énergie / 2012	7,5 %	16,5 %
Taux de réduction de la conso primaire de charbon / 2012	66 %	80 %
Taux de réduction de la conso primaire de pétrole / 2012	19 %	34 %
Taux de réduction de la conso primaire de gaz naturel / 2012	10 %	22 %
Production chaleur à partir de biomasse (TWh)	145,0	163,0
Production géothermie (TWh)	2,9	4,6
Production source froide PAC (TWh)	39,6	48,0
Production solaire thermique (TWh)	1,8	2,2
Chaleur et froid renouvelable sur réseaux (TWh)	25,5	35,6
Production de gaz renouvelable (TWh PCS ¹¹)	14,0	28,0
Capacité installée éolien (GW)	26,5	39,7
Capacité installée PV (GWc)	20,1	39,6
Capacité installée Hydro + EMR (GW)	25,7	26,6
Capacité installée biogaz cogénération (GW)	14,0	28,0

Tableau 4 - Objectifs nationaux issus de la PPE 2020

¹⁰ Lorsqu'une fourchette est donnée par la PPE pour l'horizon 2028 (valeurs basse et haute), la valeur retenue est la moyenne des deux.

¹¹ Nos valeurs étant en PCI, ces objectifs ont été convertis en PCI.

Le tableau ci-dessus résume les objectifs chiffrés présents dans le décret de la PPE, qui peuvent être comparés aux résultats de l'agrégation des SRADDET. D'autres objectifs sont également présents dans la PPE, qui ne peuvent être directement comparés, essentiellement par manque de données :

- L'objectif de développement du power-to-gas est exprimé en capacité installée d'électrolyseurs. Ce point n'est que rarement mentionné dans les SRADDET et jamais quantifié avec cet indicateur.
- Augmentation de la part renouvelable dans l'hydrogène industriel : les consommations non énergétiques ne sont de façon générale pas abordées dans les SRADDET, ce qui concerne donc aussi l'hydrogène utilisé en matière première.
- Le déploiement de technologies alternatives de mobilité est exprimé en parc de véhicules et points de recherche ou de ravitaillement. Là aussi les SRADDET n'affichent pas tous des objectifs de ce type.

Le cas des EnR électriques est un peu spécifique : les objectifs de la PPE sont donnés en capacité installée (GW ou GwC dans le cas du solaire photovoltaïque), hors la plupart des régions ne fournissent leurs objectifs qu'en terme de production d'énergie (GWh). Il n'est donc en théorie pas possible d'effectuer une comparaison directe entre la PPE et les SRADDET sur ce point. Néanmoins, pour estimer la compatibilité en ordre de grandeur, nous sommes partis des facteurs de charge moyen pour les différentes technologies d'après le rapport 2019 de RTE (et nos propres hypothèses pour l'éolien marin) :

Filière	Facteur de charge (%)	Facteur de charge (h/an)
Eolien terrestre	23,6 %	2067
PV	14,0 %	1229
Hydroélectricité	26,8 %	2344
Eolien marin	42,2 %	3700
Méthanisation	59,5 %	5210

Tableau 5 - Hypothèses de facteur de charge pour les EnR électriques disposant d'un objectif dans la PPE

Nous avons ainsi pu reconstituer des objectifs par filière exprimés en énergie :

Indicateur	2023	2028
Production éolien (TWh)	58,7	91,3
Production PV (TWh)	24,7	48,6
Production Hydro + EMR (TWh)	60,2	62,2
Production biogaz cogé (TWh)	1,4	2,0

Tableau 6 - Objectifs nationaux de la PPE 2020 pour les EnR électriques, recalculés à partir des capacités installées

Concernant la réduction de la consommation primaire fossile (résultats *a priori* très influencés par notre propres hypothèses), les régions sont globalement plus ambitieuses que la PPE avec **41 %** de réduction en 2028 (par rapport à 2012), contre **35 %**. Dans le détail des énergies, le charbon est un peu moins réduit dans les SRADDET (71 % vs. 80 %), mais le pétrole beaucoup plus (46 % vs. 34 %), et le gaz comparable avec la PPE.

La consommation en énergie finale est également beaucoup plus réduite dans les SRADDET, avec 20 % de réduction en 2028, contre 16,6 % dans la PPE.

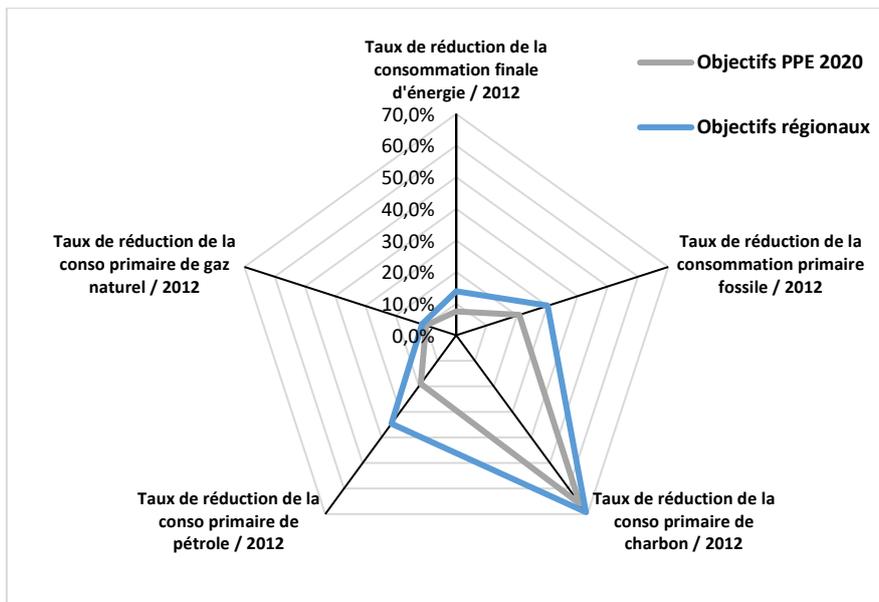


Figure 6 - Comparaison des objectifs de réduction de la consommation (régions vs. PPE) en 2023

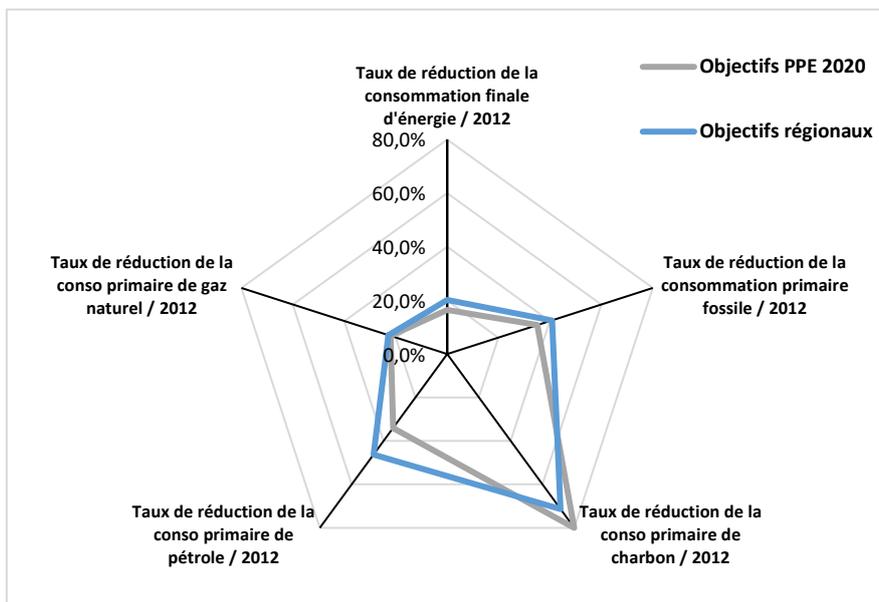


Figure 7 - Comparaison des objectifs de réduction de la consommation (régions vs. PPE) en 2028

Concernant la production d'énergie renouvelable, les objectifs sur les EnR électriques semblent également plus ambitieux dans les SRADDET :

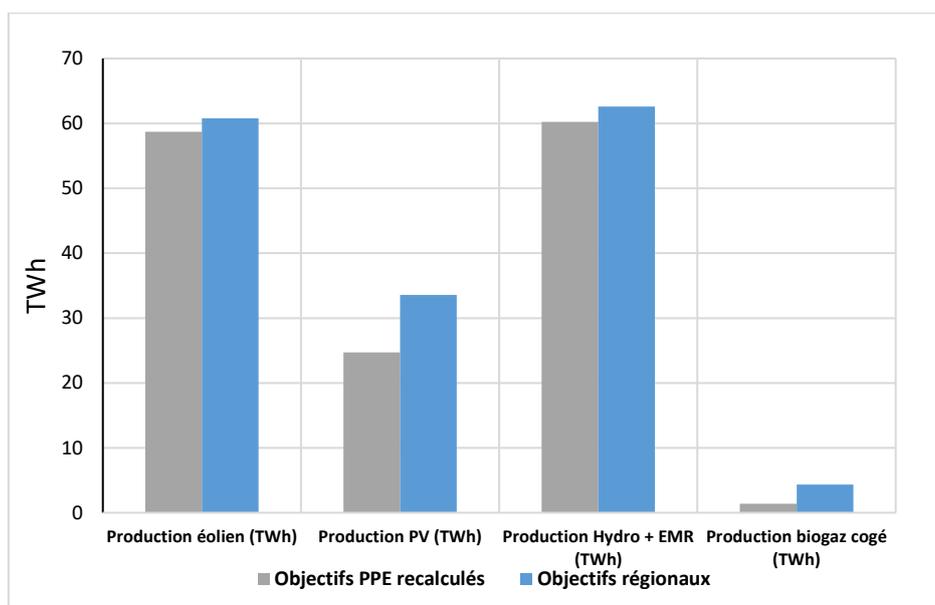


Figure 8 - Comparaison des objectifs de développement des EnR électriques (régions vs. PPE) en 2023

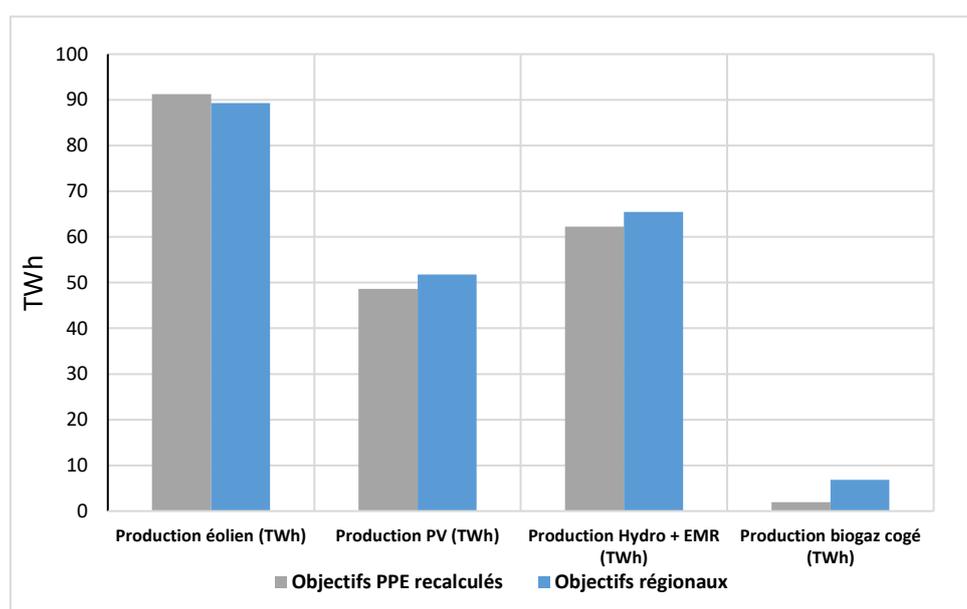


Figure 9 - Comparaison des objectifs de développement des EnR électriques (régions vs. PPE) en 2028

La production de chaleur renouvelable sur les réseaux de chaleur est comparable : un peu supérieure dans les SRADDET en 2023 (27,8 vs. 25,5 TWh), un peu inférieure en 2028 (30 vs. 35,6). Les productions globales de chaleur à partir de biomasse et de chaleur environnement (PAC et géothermie) sont toutefois bien en deçà dans les SRADDET :

- La biomasse plafonne à 105 TWh dans les SRADDET, tandis que les objectifs PPE sont de 145 en 2023 et 157-169 en 2028. Il s'agit ici très certainement d'un problème de comptabilité de la biomasse (notamment domestique), mais également dans une moindre mesure d'une dynamique de développement plus faible dans les SRADDET.
- La chaleur environnement n'atteint que 45 TWh en 2028, contre 55 dans la PPE. Là aussi, la comptabilité de cette production renouvelable est très délicate, car dépendante d'hypothèses (non explicites) sur les coefficients de performance des pompes à chaleur

La production de biométhane est légèrement supérieure à la PPE dans les régions : 13,3 TWh (PCI) en 2023 et 28,6 TWh en 2028, contre des cibles de 12,6 TWh en 2023 et 25,2 TWh en 2028 pour la PPE.

Dans l'ensemble, on peut donc conclure que les SRADDET ont fixé des objectifs majoritairement plus ambitieux que la PPE sur les horizons de temps qui la concernent.

4.2.2. A moyen terme (2030-2035)

Les objectifs à plus long terme se retrouvent essentiellement dans la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), complétée par la Loi Énergie Climat de 2019, laquelle est accompagnée de la Stratégie Nationale Bas Carbone révisée (SNBC2) :

Indicateur	2030	2050	Texte
Réduction des émissions GES (toute origine) vs. 1990	40 %	83 %	Loi Énergie Climat 2019 & SNBC2
Réduction des émissions de CO ₂ énergie vs. 1990	48 %	97 %	Estimations négaWatt à partir de la SNBC2
Réduction de la consommation finale d'énergie vs. 2012	20 %	50 %	LTECV
Réduction de la consommation primaire fossile vs. 2012	40 %		Loi Énergie Climat 2019
Part EnR dans consommation finale brute	33 %		Loi Énergie Climat 2019
Part du nucléaire dans production d'électricité en 2035	50 %		Loi Énergie Climat 2019
Part EnR dans électricité	40 %		LTECV
Part EnR dans carburant	15 %	100 % ¹²	LTECV & SNBC2
Part EnR dans la consomme finale de chaleur	38 %		LTECV
Part EnR dans gaz	10 %		LTECV

Tableau 7 - Objectifs nationaux issus de la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte, de la Loi Énergie Climat 2019 et de la SNBC2

Une des difficultés de cette étude est que les objectifs sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) portent sur la totalité des GES, et non sur les seuls GES issus de la combustion directe de combustibles fossiles (cf. première ligne du tableau ci-dessus). Nous avons néanmoins tenté de traduire ces objectifs en cibles pour la partie énergétique seulement (cf. deuxième ligne du tableau), en s'appuyant sur les projections effectuées dans la SNBC2 (qui font logiquement porter la majorité des réductions sur le secteur énergétique, les autres secteurs étant moins prépondérants et surtout plus difficiles à réduire). On arrive ainsi à un objectif très ambitieux de réduction du CO₂ énergie en 2050, de 97 % par rapport à 1990.

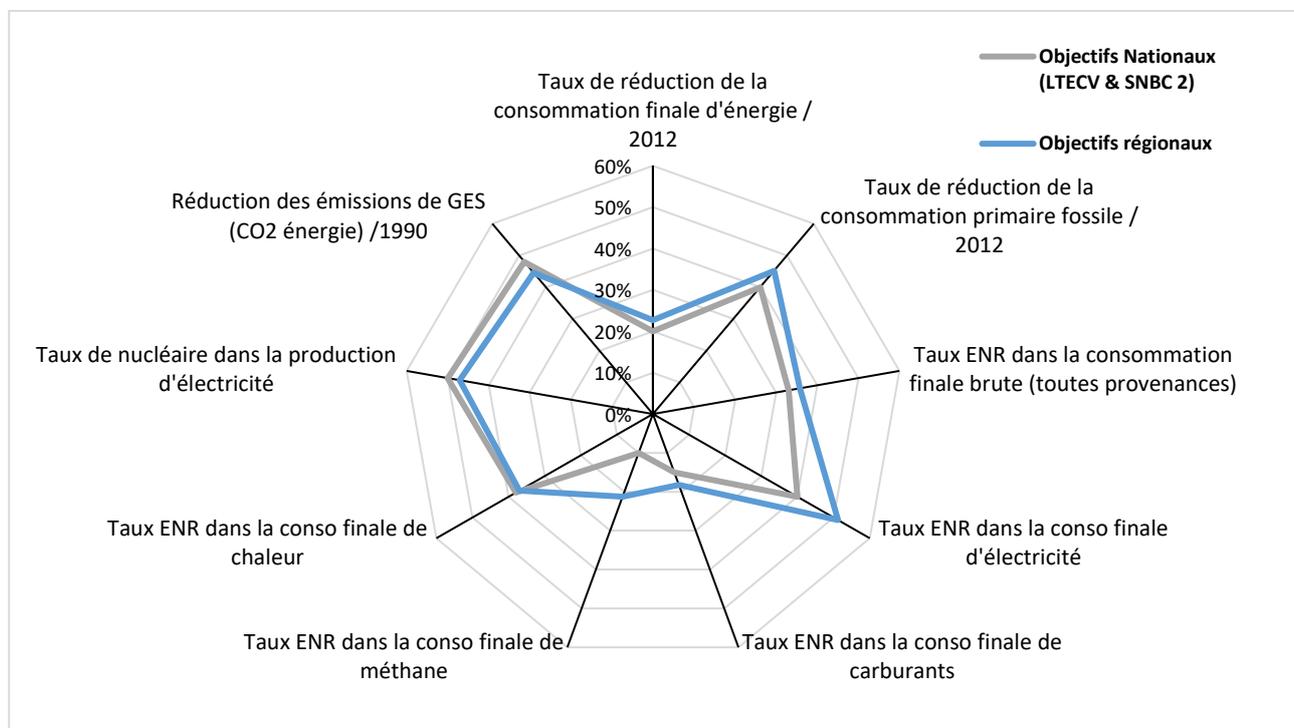


Figure 10 - Comparaison des résultats avec les objectifs nationaux en 2030/2035

¹² La SNBC2 vise une neutralité carbone dans les transports en 2050

La figure précédente tend à montrer que l'agrégation des régions est assez proche des principaux engagements nationaux pour 2030 :

- Objectif légèrement dépassé pour la réduction des consommations en énergie finale
- De même l'objectif pour le taux d'EnR dans la consommation finale est atteint, et même légèrement dépassé (36 % vs. 33 %)

4.2.3. A long terme (2050)

L'atteinte des objectifs nationaux est en revanche beaucoup plus incertaine pour l'horizon plus lointain de 2050 :

- L'objectif de réduction des consommations en énergie finale pour 2050 (-50 %) n'est pas atteint, avec un total de **45 %**. Les contributions régionales sur cet indicateur sont relativement homogènes (en comparaison d'autres indicateurs) :

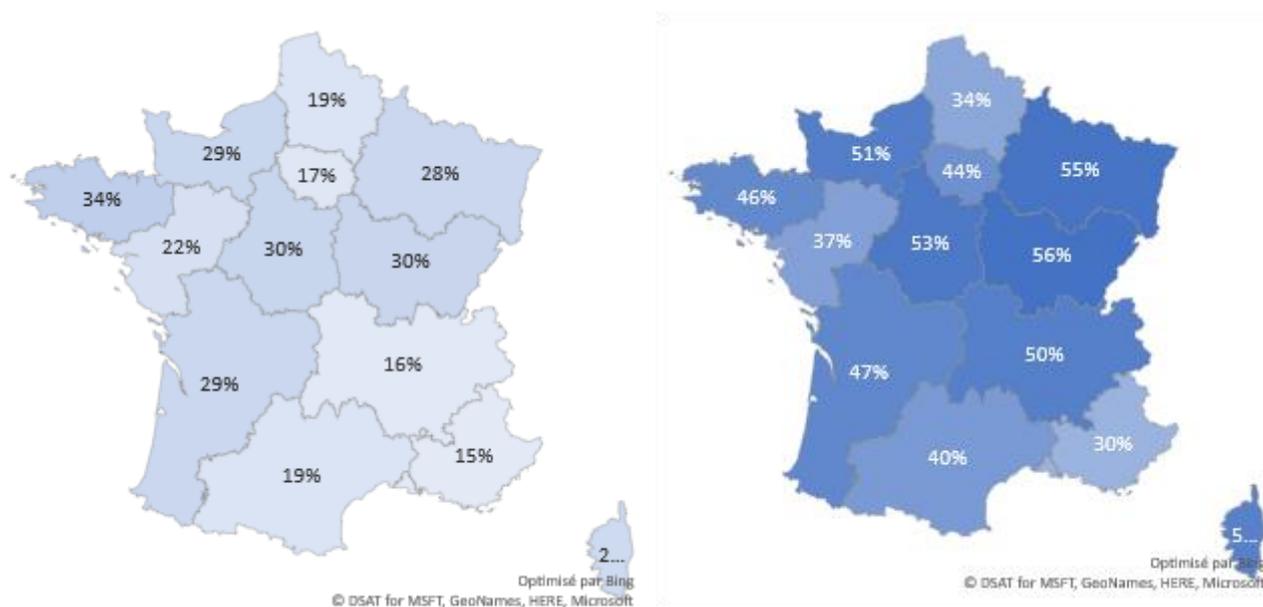


Figure 11 - Objectifs régionaux de réduction de la consommation finale d'énergie en 2030 puis 2050 (par rapport à 2012)

- Pour 2050, il n'y a pas d'objectif spécifique de taux d'EnR dans la consommation, mais avec **27 %** d'énergies fossiles, on se trouve *a priori* loin d'une neutralité carbone

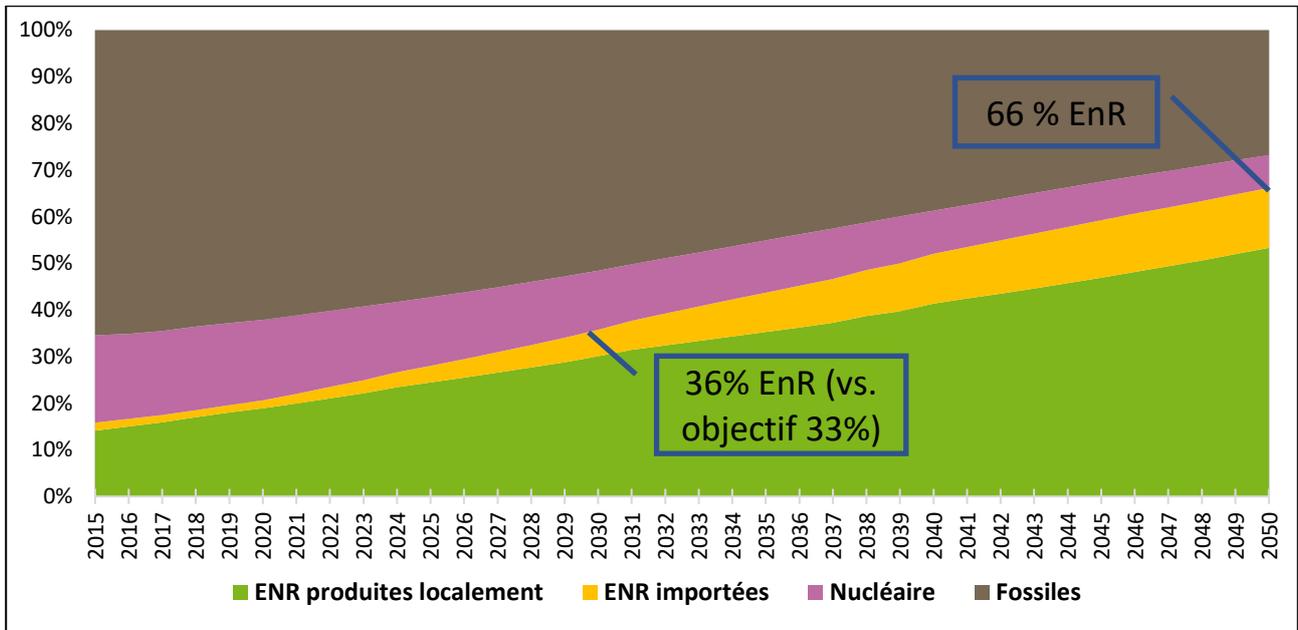


Figure 12 - Répartition de la consommation en énergie finale brute

Pour information, la partie renouvelable de la consommation en énergie finale est ventilée de la sorte, selon les différentes familles de vecteurs :

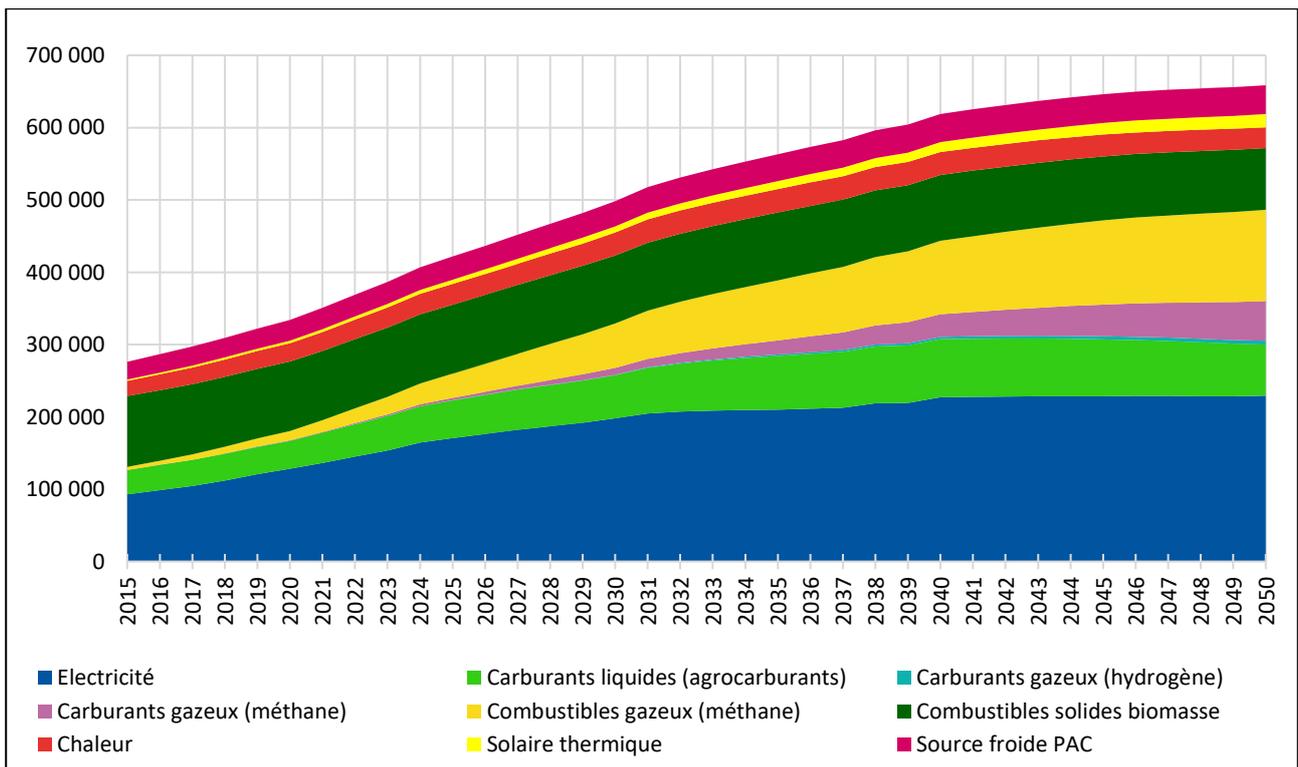


Figure 13 - Contribution des renouvelables à la consommation en énergie finale, pour les différents vecteurs (GWh)

- Concernant la réduction des émissions GES, on se trouve effectivement loin de l'objectif de réduction recalculé de **97 %**, avec seulement **79 %**.

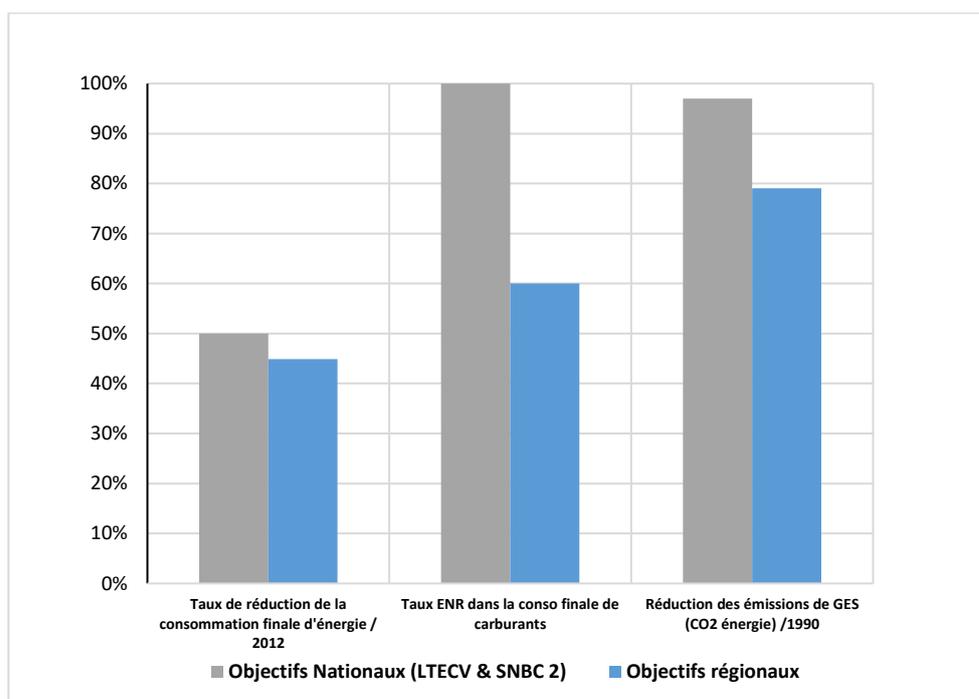


Figure 14 - Comparaison des résultats avec les objectifs nationaux en 2050

Sur le point spécifique de la décarbonation du secteur transport (visé par la SNBC2), le résultat est *a priori* loin de l'objectif également, mais là aussi il est pour l'instant difficile de conclure en l'absence d'hypothèses claires sur l'évolution des technologies de transport et sur le taux d'incorporation d'EnR dans les carburants liquides (cf. remarques du chapitre 3.3).

La non-conformité des trajectoires SRADDET avec l'objectif de neutralité carbone peut également s'apprécier en les comparant avec le scénario négaWatt 2017 (qui a cet objectif en ligne de mire). C'est l'objet de l'Annexe 5.

4.3. Conformité de l'affichage région 100 % EnR 2050 avec la trajectoire énergétique effective

NB : les résultats présentés dans ce paragraphe étant de nature à remettre en cause les objectifs affichés dans les SRADDET, nous avons préféré les anonymiser, afin de ne pas pointer du doigt d'éventuels « mauvais élèves », tout en conservant le propos général.

Le graphique suivant illustre les fortes disparités pouvant exister entre régions dans le taux d'EnR dans la consommation d'énergie finale, calculé selon la méthode « officielle » explicitée au chapitre 2.1.

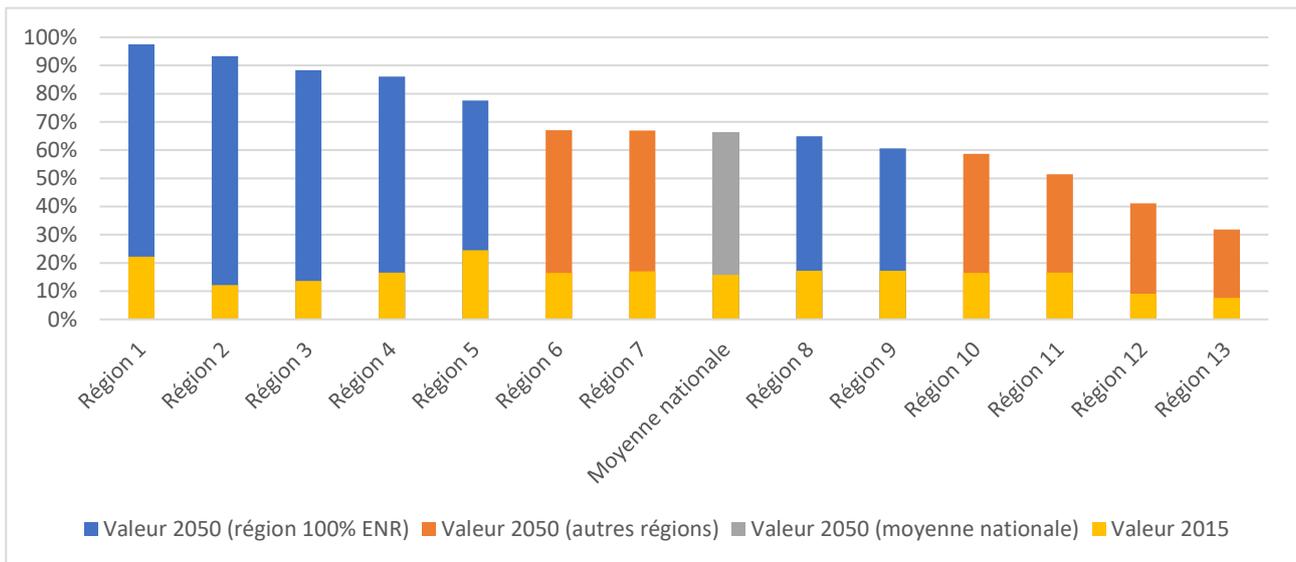


Figure 15 - Taux d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale brute en 2050 (régions anonymisées)

On peut noter que si la plupart des régions affichant une volonté de « 100 % EnR » se situent parmi les mieux disantes, ce n'est pas le cas de deux d'entre elles qui se retrouvent en milieu de tableau. Par ailleurs le 100% EnR n'est réellement approché que par une petite poignée de régions.

Cet écart entre l'objectif et le résultat atteint s'explique notamment par le fait que la plupart des régions affichant un tel objectif s'appuient plutôt sur un autre indicateur pour évaluer leur caractère « 100 % EnR » : le ratio production primaire d'EnR locale / consommation d'énergie finale. Le graphique suivant illustre pourtant le manque de corrélation entre cet indicateur et le précédent :

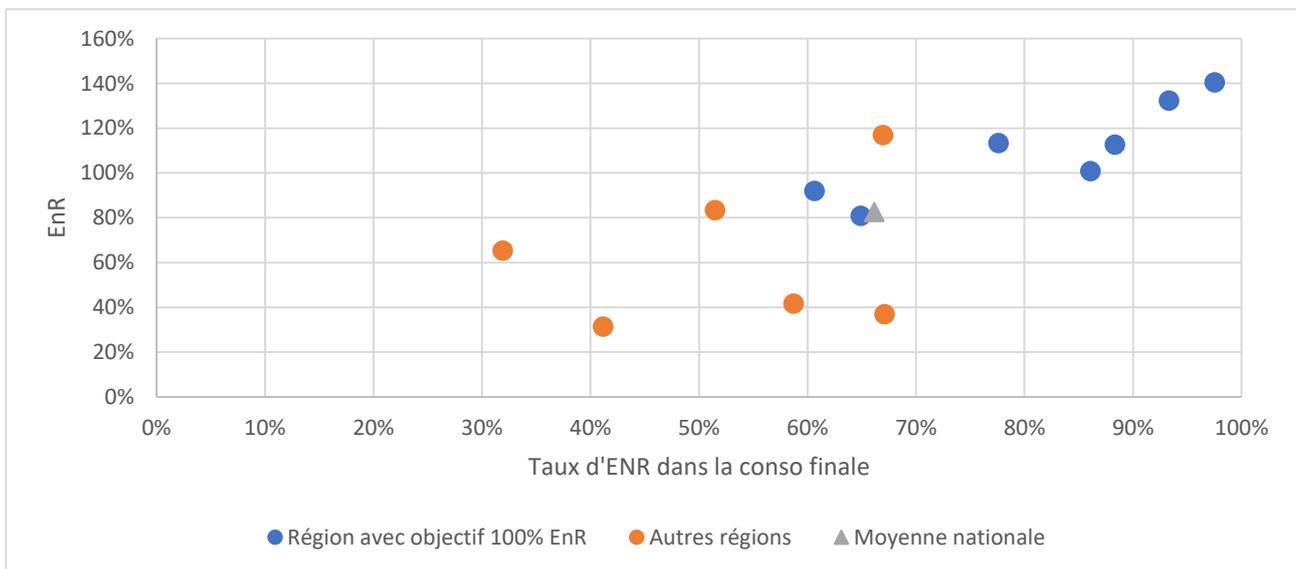


Figure 16 - Comparaison du taux d'EnR dans la consommation d'énergie finale brute vs. le ratio production d'EnR primaire / consommation d'énergie finale en 2050

On constate ci-dessus que de nombreuses régions s'approchent et même dépassent 100% en ordonnée, tout en restant relativement éloignées du 100% en abscisse. Par ailleurs, par le jeu des imports / exports de chaque vecteur, on trouve aussi bien des régions ayant un bon ratio prod EnR / conso finale et un taux d'EnR réel faible, que l'inverse ! Les régions s'approchant du 100% EnR sont celles ayant opté pour un fort développement des EnR (en comparaison de la consommation d'énergie finale réduite en 2050) **ET** une bonne adéquation entre offre renouvelable et demande selon chaque vecteur énergétique.

La corrélation est bien meilleure avec le taux d'EnR d'origine locale dans la consommation d'énergie finale brute (à deux exceptions près, qui sont des régions fortement importatrices) :

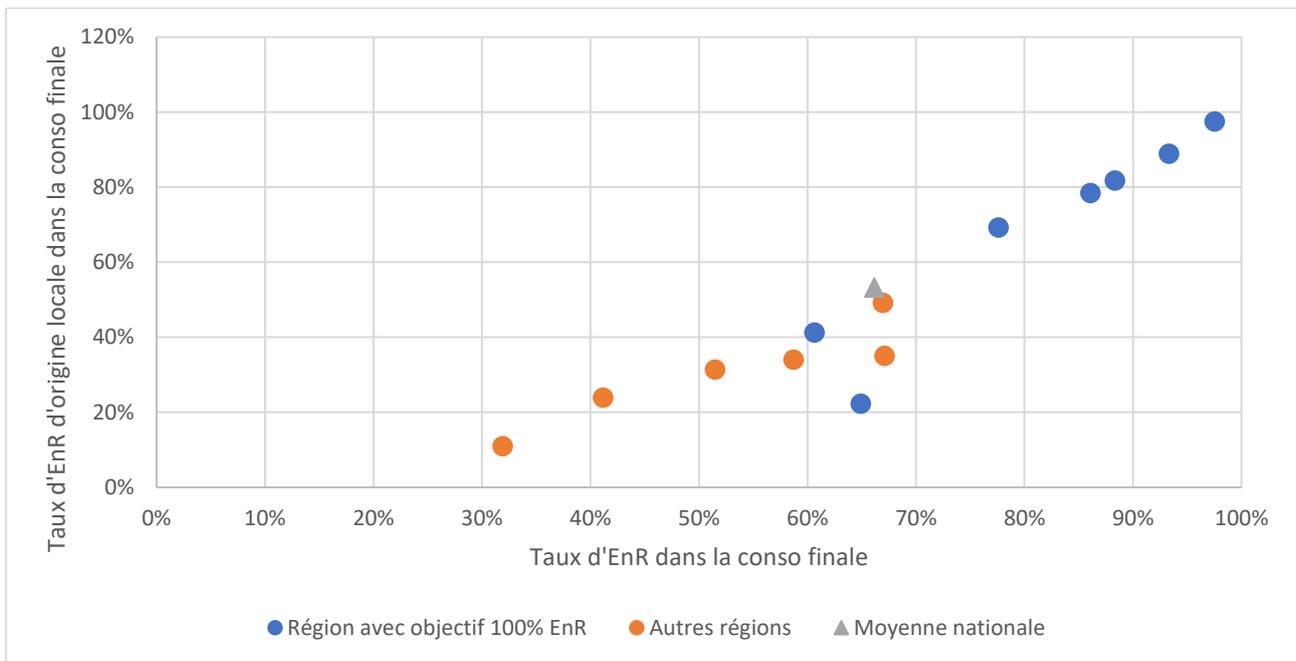


Figure 17 - Comparaison du taux d'EnR dans la consommation d'énergie finale brute vs. taux d'EnR d'origine locale dans la consommation d'énergie finale brute en 2050

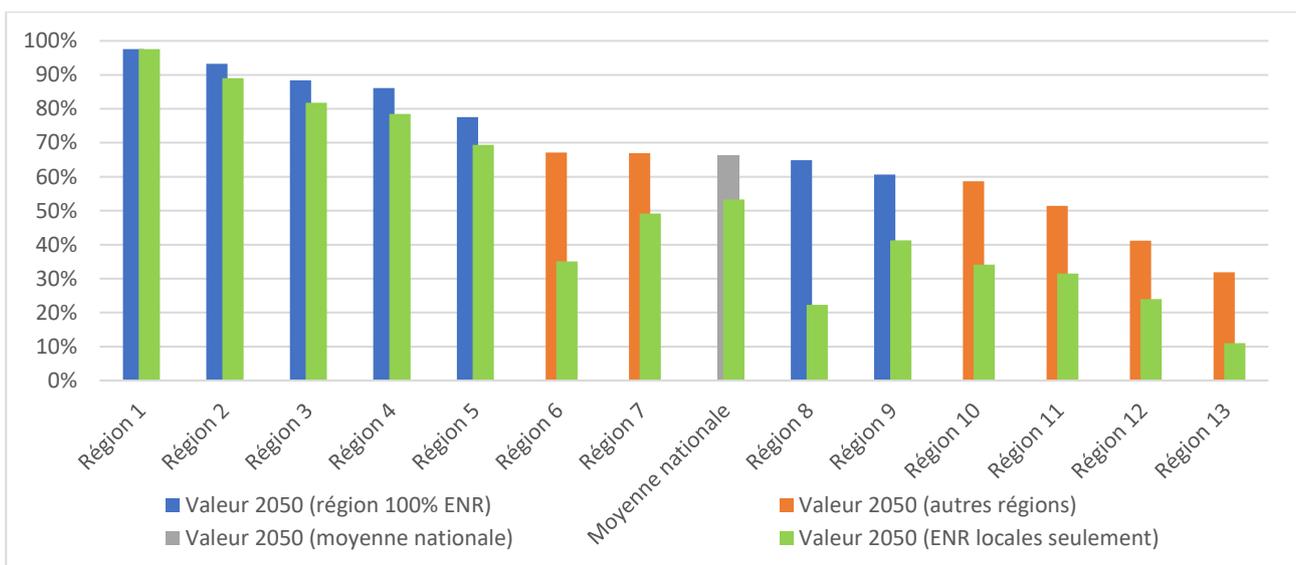


Figure 18 - Taux d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale brute en 2050 d'origine locale ou non

Sans surprise, on voit que cette dernière définition de taux d'EnR, plus exigeante car ignorant la part importée dans la consommation finale d'EnR, amoindrit légèrement les résultats. Atteindre 100% selon cette dernière définition n'est pas nécessairement un objectif à promouvoir à tout prix, mais il est intéressant de noter que si l'ambition politique initiale est parfois de satisfaire les besoins de la région à 100% avec des EnR d'origine locales, l'ampleur de la tâche est considérable, et les trajectoires proposées ne sont pour l'instant pas à la hauteur dans la plupart des régions.

4.4. Equilibre offre / demande par vecteurs

Au-delà de la comparaison de l'agrégation des régions avec les objectifs nationaux, et de la vérification de la cohérence interne des SRADDET, il est intéressant de se pencher sur l'adéquation de l'offre avec la demande, sur chaque vecteur. D'autant plus que, comme on l'a vu au chapitre 3.3, cette question des vecteurs a été dans l'ensemble ignorée.

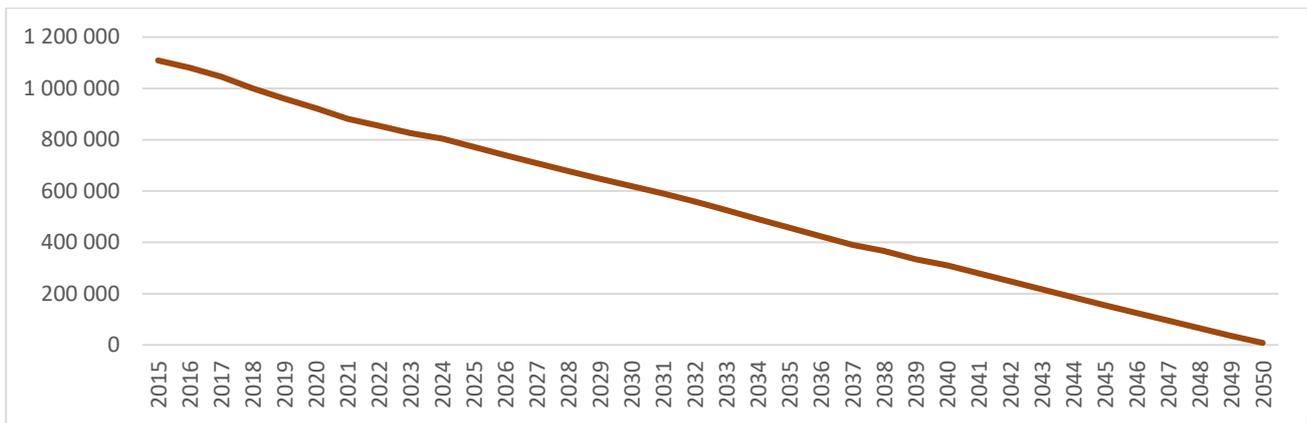


Figure 19 - Balance import / export totale (GWh/an)

La balance totale, tous vecteurs confondus, semble indiquer que l'on se dirige progressivement vers une autonomie énergétique en 2050. Cela masque toutefois de grandes disparités entre vecteurs, comme l'indique le diagramme ci-dessous. Celui-ci montre le ratio entre la balance import / export d'un vecteur (en négatif s'il s'agit d'exportation, en positif s'il s'agit d'importation) et la demande totale de ce même vecteur – comprenant la consommation finale et les processus de transformation.

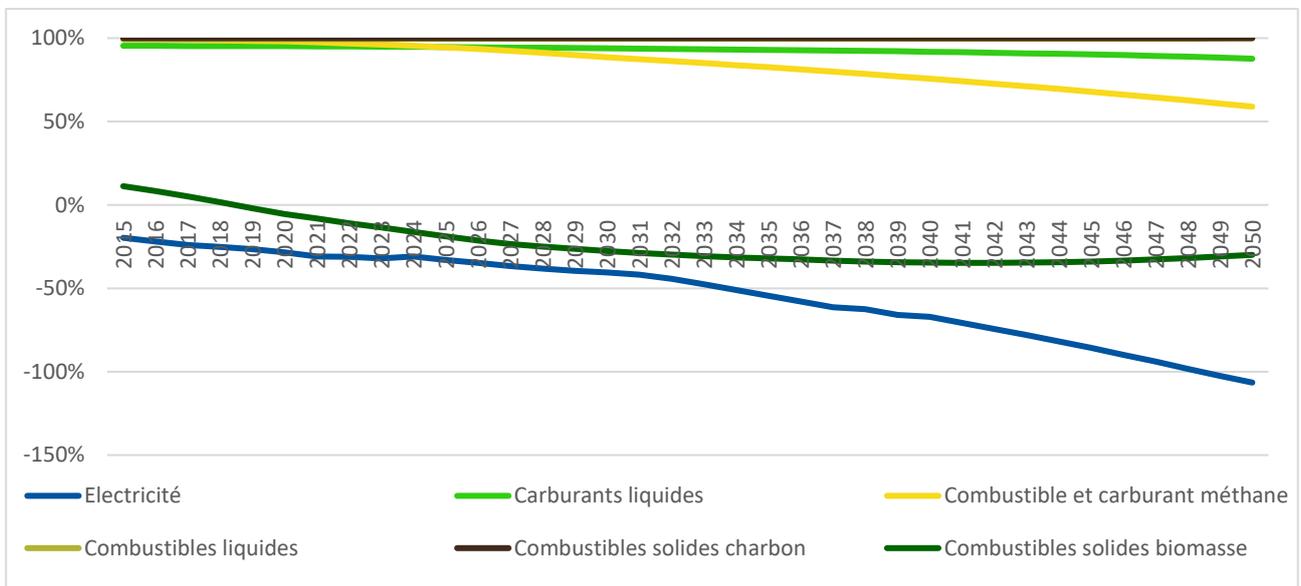


Figure 20 - Balance import / export par vecteur relativement à la demande (% de la demande totale du vecteur)

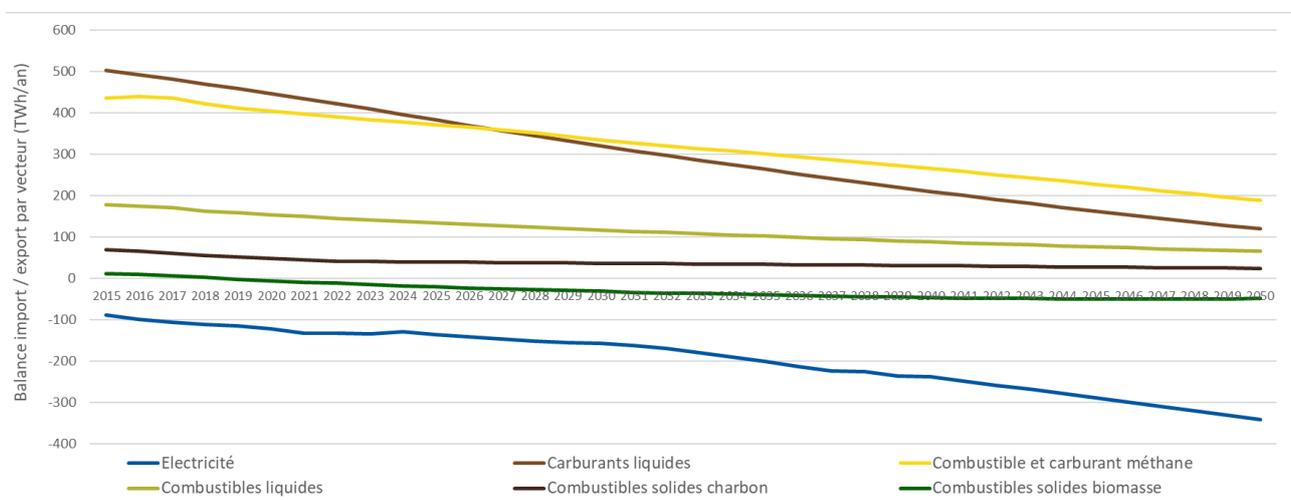


Figure 21 - Balance import / export par vecteur en valeur absolue (TWh)

Sur les 6 familles de vecteurs représentés :

- Le charbon et les combustibles liquides (pétrole) restent logiquement importés à presque 100 %
- Les carburants liquides restent importés à **88 %**. Ce résultat est très dépendant d'hypothèses (manquantes) sur l'évolution des technologies de mobilité, et du taux d'incorporation d'agrocarburants. Quoiqu'il en soit, seules deux régions prévoient une production d'ampleur de ce type de carburants d'ici 2050 :

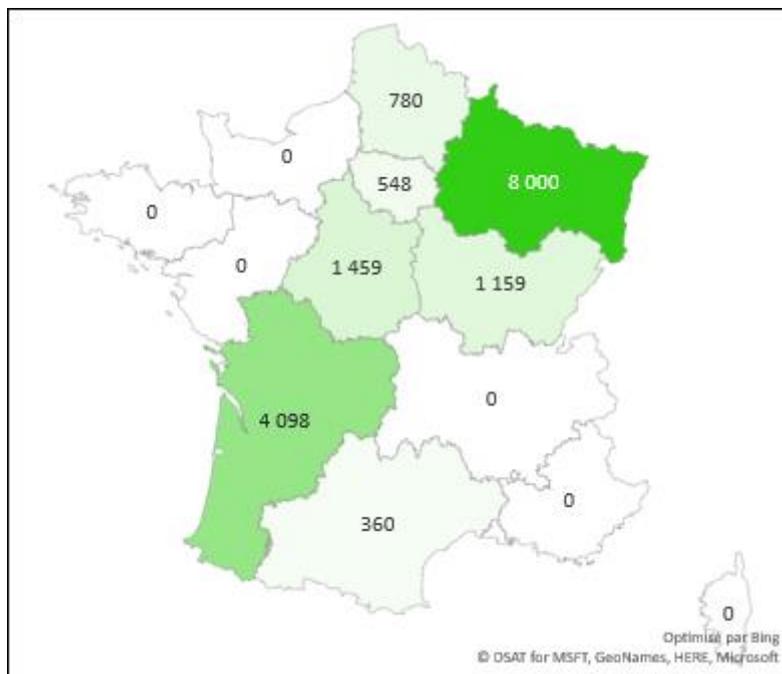


Figure 22 - Production d'agrocarburant en 2050 (GWh)

- Le gaz méthane reste importé à **59 %** de la demande.
- La biomasse solide est moins déséquilibrée, mais exporte néanmoins l'équivalent de **34 %** de la demande du territoire en 2050. La pyro-gazéification de cet excédent couvrirait 18 % des importations de méthane nécessaire à cet horizon.
- L'électricité devient rapidement massivement exportatrice (la production représente **plus du double de la consommation** en 2050 !). Là aussi, ce résultat est très dépendant d'hypothèses manquantes sur l'évolution du nucléaire et de l'électro-mobilité. Comme on peut le voir sur le diagramme ci-dessous, la production nucléaire représenterait l'équivalent de 2/3 des exportations d'électricité en 2050. Il y a donc un enjeu à mettre en cohérence les objectifs de développement EnR, le maintien ou non du parc nucléaire, la réduction de la consommation, et le développement de nouveaux usages de l'électricité (électro-mobilité).

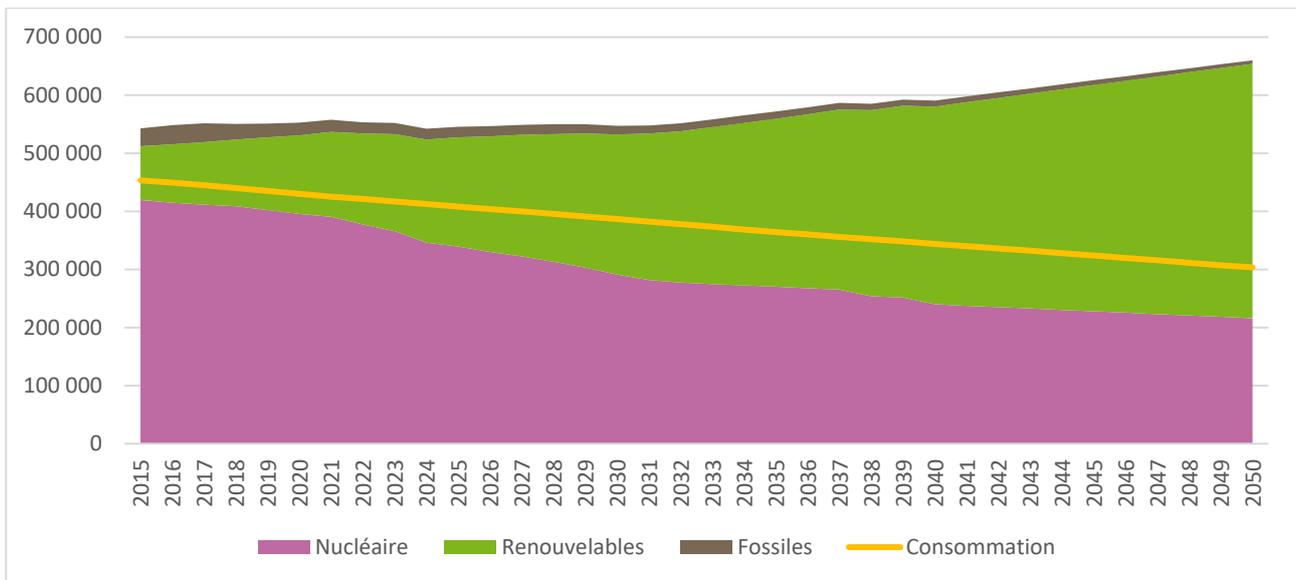


Figure 23 - Evolution de la production électrique nationale par source, vs. consommation (GWh/an)

L'électrolyse et la méthanation de cet excédent d'électricité permettraient de couvrir 82 % des importations de gaz à l'horizon 2050. En combinant la pyro-gazéification des excédents de biomasse solide et l'électrolyse puis la méthanation des excédents d'électricité, le bilan s'en trouverait profondément modifié :

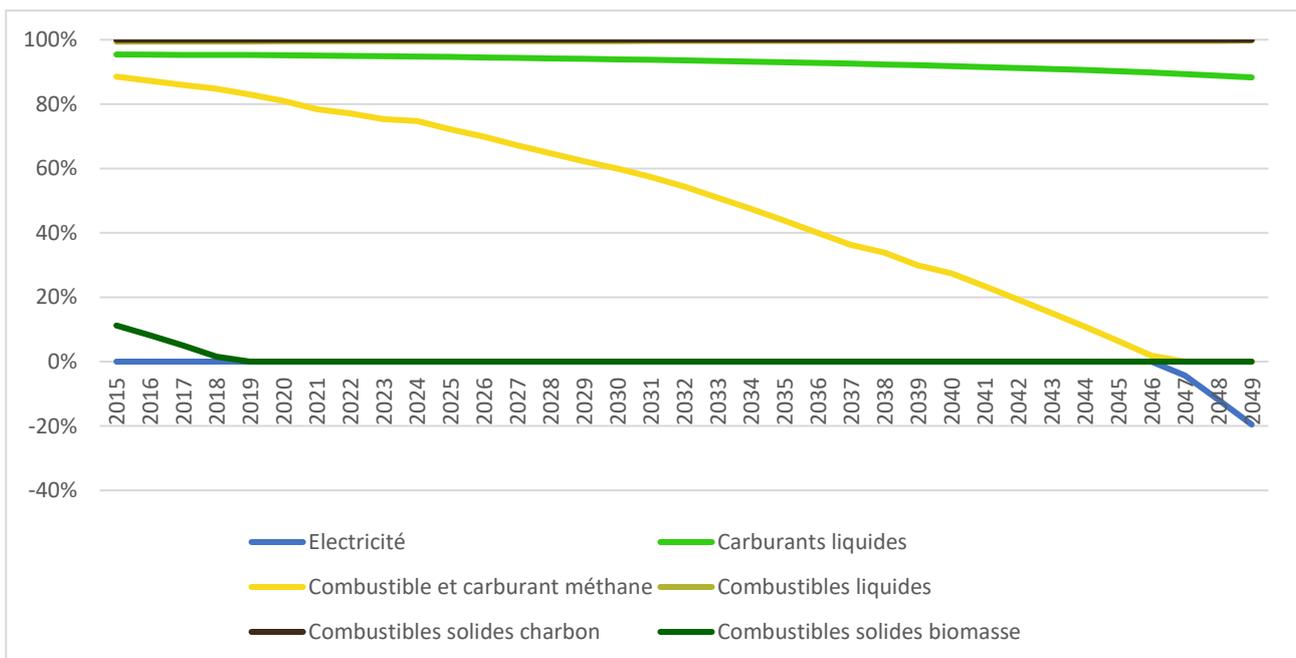


Figure 24 - Balance import / export par vecteur en exploitant les technologies de conversion (% de la demande totale du vecteur)

Seuls les carburants liquides, les combustibles liquides et le charbon resteraient fortement importateurs, tandis que les 3 autres vecteurs seraient à l'équilibre ou presque en 2050. La production d'énergie finale serait réduite de 116 TWh en 2050 (soit 12 % de la consommation finale totale), du fait des pertes de transformation des processus de conversion de la biomasse et de l'électricité en gaz ; mais cela permettrait de réduire fortement les importations de gaz, et de ne pas parier sur un hypothétique export massif d'électricité.

Cette conversion gaz/électricité permettrait par ailleurs de contribuer à l'atteinte de l'équilibre offre/demande sur le réseau électrique, dans un mix électrique profondément modifié où la part d'énergies non pilotables¹³ passerait de 6 % à **56 %** :

¹³ On considère ici les filières suivantes : éolien, solaire photovoltaïque, énergies marines, biogaz en cogénération

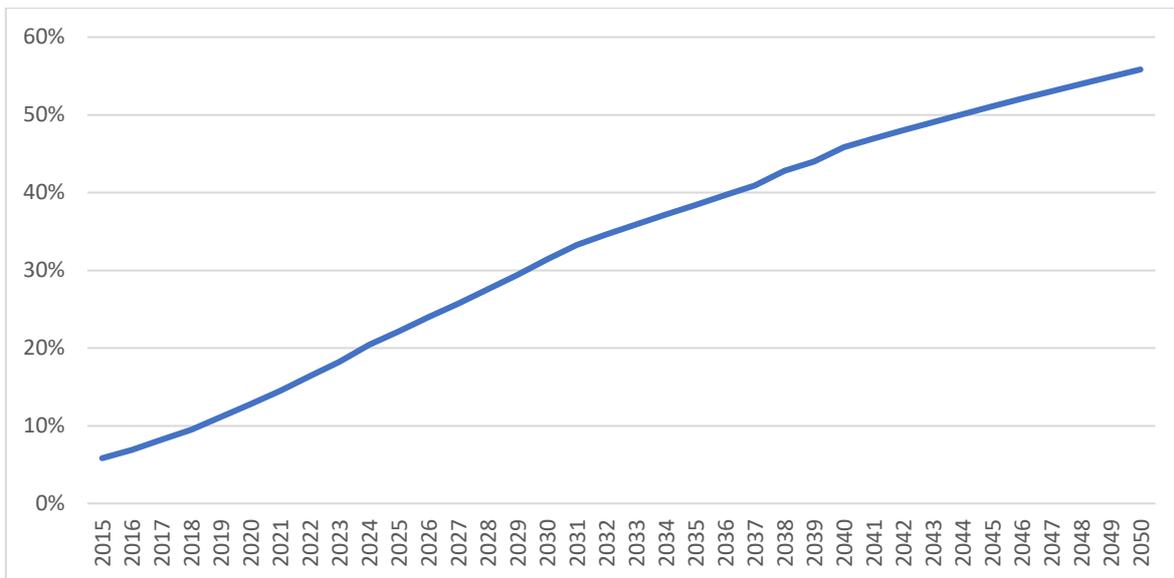


Figure 25 - Taux de pénétration des EnR électriques non pilotables

Concernant les réseaux de chaleur, on part du principe qu'ils ne sont pas interconnectés entre régions, et qu'il n'est donc en théorie pas possible d'avoir d'import ni d'export. En cas de production excédentaire, notre outil de calcul bride les moyens de production pour les adapter à la demande, selon un « ordre de mérite » privilégiant les sources peu carbonées (voir page 70). Les cas de production insuffisante sont plus problématiques à traiter. Quelques régions sont dans cette situation sur les premières années de la prospective, mais seule la région Occitanie se maintient en déficit au-delà de 2025 (pour une quantité n'ayant *a priori* qu'un impact marginal sur le résultat global).

4.5. Solidarités inter-régionales

Toutes les régions (sauf l'Île-de-France) sont exportatrices nettes d'EnR sur au moins un vecteur en 2050 :

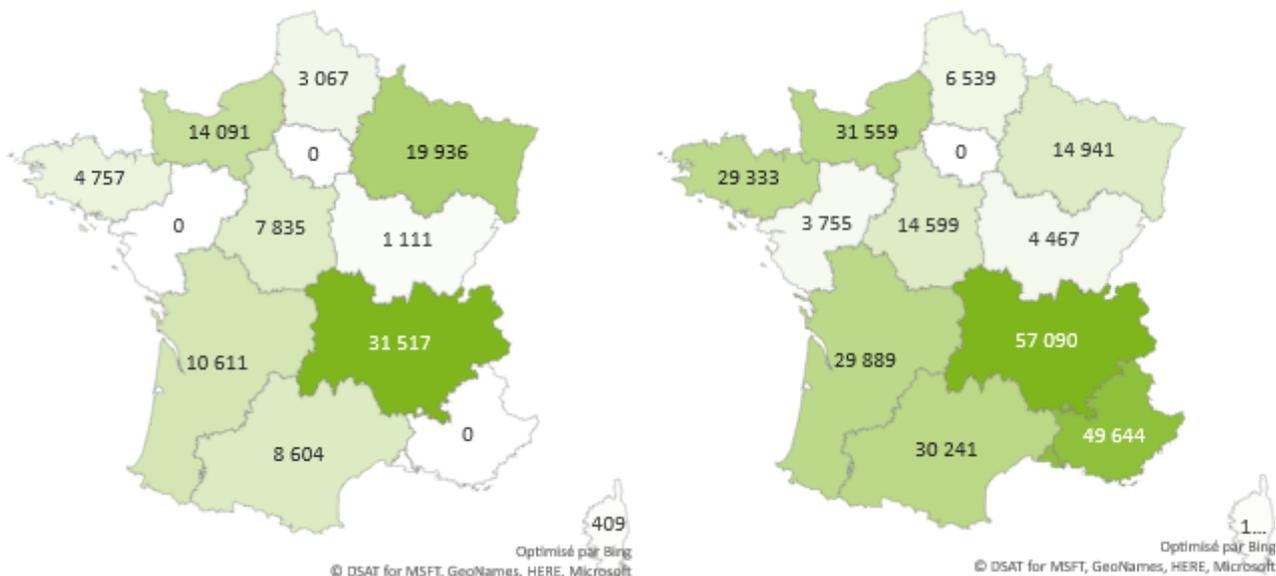


Figure 26 - Exportations régionales d'EnR en 2030 et 2050 (GWh)

Naturellement, ces exportations suivent des spécificités régionales (voir aussi les productions régionales pour chaque filière, détaillées en annexe) :

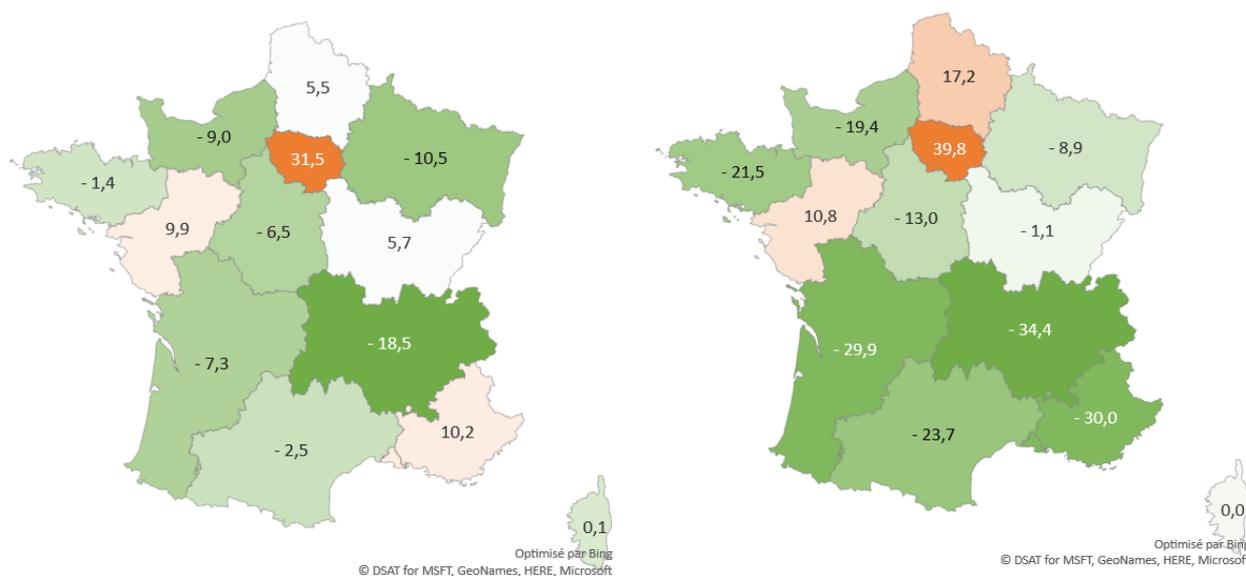


Figure 28 - Balance import / export d'EnR en 2050 (GWh)

4.6. Analyse : cohérence des objectifs, règles et mesures du volet énergie des SRADDET

La présente partie a pour objet d'analyser l'adéquation entre les objectifs fixés par les différents SRADDET et les règles et mesures définies pour y parvenir.

4.6.1. Les éléments constitutifs d'un SRADDET¹⁴

Le SRADDET (loi NOTRe, 2015) est un **outil de planification stratégique régional** et tel que décrit dans l'article L. 4251-1 du code général des collectivités territoriales (CGCT), « Ce schéma fixe les objectifs de moyen et long termes sur le territoire de la région en matière d'équilibre et d'égalité des territoires, d'implantation des différentes infrastructures d'intérêt régional, de désenclavement des territoires ruraux, d'habitat, de gestion économe de l'espace, d'intermodalité et de développement des transports, de maîtrise et de valorisation de l'énergie, de lutte contre le changement climatique, de pollution de l'air, de protection et de restauration de la biodiversité, de prévention et de gestion des déchets. »

Il permet de centraliser les documents de planification suivants : SRCE (Schéma régional de cohérence écologique), SRCAE (Schéma régional climat air énergie), SRIT (Schéma régional des infrastructures et des transports), SRI (Schéma régional d'intermodalité), PRPGD (Plan régional de prévention et de gestion des déchets).

Les documents suivants doivent prendre en compte les objectifs annoncés dans le rapport du SRADDET et s'assurer de leur compatibilité avec les règles énoncées dans le fascicule du SRADDET :

- SCoT (Schémas de cohérence territoriale) ou à défaut : PLU(i) (Plans locaux d'urbanisme communaux et/ou intercommunaux), cartes communales,
- PCAET (Plans climat air énergie territoriaux),
- PNR (Chartes de Parcs Naturels Régionaux),
- PDU (Plans de Déplacement Urbain),
- Décisions prises par les personnes morales de droit public et leurs concessionnaires dans le domaine de la prévention et de la gestion des déchets.

¹⁴ Sources : SRADDET AURA, SRADDET Centre Val de Loire, SRADDET Grand Est, "Le SRADDET pour une accélération de la transition énergétique et écologie des régions" (ADEME, janvier 2019), Avis délibéré de l'Autorité environnementale pour le cadrage préalable du schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) de la région Auvergne-Rhône-Alpes (n°Ae : 2018-86, décembre 2018), Le contenu du SRADDET : le rapport (CEREMA, <https://www.cerema.fr/fr/actualites/contenu-du-sraddet-rapport>).

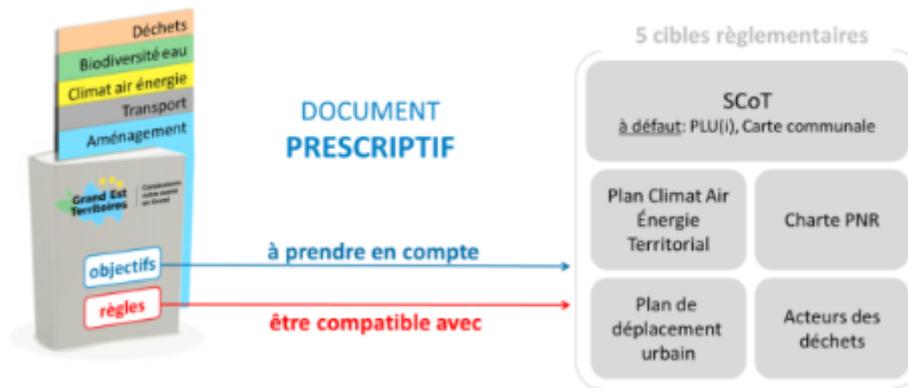


Figure 29 - Relations entre les documents de planification existant et le SRADDET (Source : SRADDET Grand-Est - Novembre 2019)

Le document se découpe en trois parties (Figure 30) :

- Un **rapport** consacré aux objectifs : synthèse de l'état des lieux et des enjeux du territoire, définition de la stratégie, carte illustrative.
- Un **fascicule** de règles regroupant les règles générales, éventuellement assorties de mesures d'accompagnement, organisé en chapitres thématique.
- Des **annexes**, dont les suivantes sont obligatoires : rapport environnemental (démarche d'évaluation environnementale du SRADDET) ; état des lieux de la prévention et de la gestion des déchets et prospective de leur évolution tendancielle ; diagnostic de biodiversité du territoire (plan d'action stratégique, atlas cartographique et continuités écologiques de la trame verte et bleue).

Les articles [R. 4251-4](#) à [R. 4251-7](#) du code général des collectivités territoriales imposent au SRADDET des orientations spécifiques (objectifs et règles) sur les thématiques suivantes : **infrastructures, transports, intermodalité ; air, énergie, climat ; biodiversité ; déchets.**

Les objectifs et règles du SRADDET doivent être compatibles avec les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), les plans de gestion des risques d'inondation (PGRI), les dispositions générales d'aménagement et d'urbanisme à caractère obligatoire prévues au livre 1er du code de l'urbanisme ainsi que les servitudes d'utilité publique affectant l'utilisation des sols.

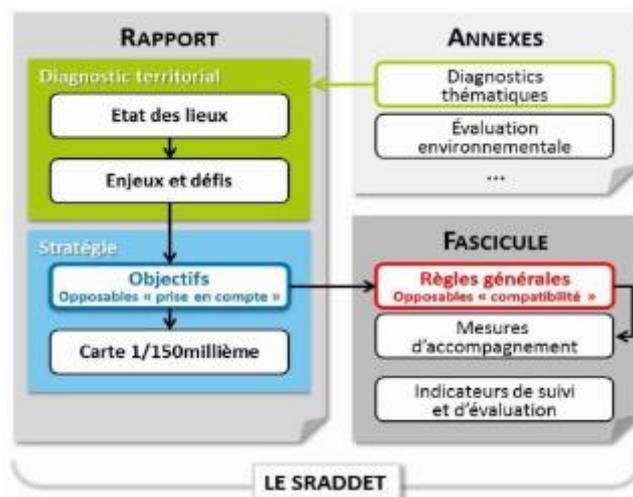


Figure 30 - Articulation des éléments du SRADDET (source : SRADDET Grand-Est - Novembre 2019)

4.6.2. Méthodologie d'analyse

L'objectif est de fournir une analyse qualitative et quantitative des mesures proposées dans chacune des régions. Sans être exhaustive, cette analyse évaluera les mesures proposées aussi bien du point de vue de leur mise en œuvre opérationnelle que de leur cohérence avec les trajectoires retenues dans les différents SRADDET.

La méthodologie a pour vocation, à partir de l'analyse de cinq SRADDET (Auvergne Rhône Alpes, Bretagne, Centre Val de Loire, Grand Est, Normandie) de (1) vérifier la possibilité pour les régions d'atteindre leurs cibles énergétiques retenues par rapport à leurs règles et (2) de relever les principaux points de vigilance et pistes d'amélioration concernant la cohérence entre les mesures, règles et objectifs cités par le SRADDET. Cette analyse s'appuie sur une lecture ciblée des sections clés du SRADDET (Rapport des objectifs, Fascicule des règles) en se concentrant essentiellement sur les volets fortement liés à l'énergie. N'ayant pas porté sur l'intégralité de chaque SRADDET, elle constitue une première étape dans la formation d'axes d'amélioration des SRADDET.

Protocole détaillé :

- La démarche suivie a consisté dans un premier temps, à relever les objectifs de maîtrise de la consommation énergétique y compris par secteurs et ceux liés au développement des énergies renouvelables y compris par filière, afin d'identifier les objectifs de la région en termes de trajectoire énergétique.
- Parmi les objectifs et règles du SRADDET, ceux et celles qui se réfèrent explicitement à la thématique *air, énergie, climat* ont été analysés, en priorité, par secteur et filière.
- Ainsi, a été relevée une liste des objectifs, règles et mesures contribuant, de manière certaine, incertaine ou contradictoire à la maîtrise de la consommation énergétique (secteurs ciblés : transport, résidentiel, tertiaire, agriculture, industrie hors énergie) et à la production d'énergie renouvelable (filières ciblées : bois production/valorisation, biogaz, biomasse liquide/agrocarburant, photovoltaïque, éolien, valorisation des déchets, géothermie haute température, hydroélectricité, solaire thermique, chaleur environnement (PAC), récupération de chaleur fatale).

Plusieurs critères ont permis d'estimer la cohérence entre ces objectifs, règles et mesures et les cibles retenues pour le territoire :

- Les cibles chiffrées et planifiées dans le temps (en GW ou GWh) sont détaillées pour chaque secteur et chaque filière, dans les objectifs.
- L'ensemble des secteurs et filières sont couverts par des mesures accompagnant les règles (à défaut, tous les secteurs et filières bénéficiant de cibles chiffrées sont couverts par des objectifs/règles/mesures).
- Chaque filière/secteur possède un nombre significatif de mesures accompagnant les règles.
- Les règles et mesures sont précises, avec des cibles opérationnelles chiffrées.
- Les règles et mesures sont précises : définies par des objectifs opérationnels, situées dans le temps, dotés de moyens et méthodes de mise en œuvre explicites.
- Certains sous-objectifs/règles/mesures, qui ne sont pas spécifiquement attribués au volet énergie, ont de potentiels effets concourants à ce volet.
- Les potentielles conséquences de certains objectifs/règles/mesures du SRADDET, tous volets confondus, sont en contradiction avec les lignes directrices du volet *climat, air, énergie*.
- Les potentielles conséquences de certains objectifs/règles/mesures du SRADDET, tous volets confondus, sont incertaines et possiblement en contradiction avec les lignes directrices du volet *climat, air, énergie*.

Cette analyse tente de mesurer ensuite l'adéquation entre l'ensemble de ces objectifs/règles/mesures et les cibles retenues par chaque SRADDET. Les principaux points de défaillances ont été relevés et accompagnés de recommandations, spécifiques et générales.

Ci-après se trouve la synthèse de ce travail, présentant les grandes tendances qui ressortent des SRADDET.

4.6.3. Analyse des SRADDET

Les objectifs de maîtrise de la consommation et de développement des EnR.

Si certains SRADDET détaillent des trajectoires de consommation d'énergie (MDE), et ainsi des objectifs de consommation par secteur, ce n'est pas le cas de tous les exercices. Certains ne donnent qu'un objectif global ou encore regroupant certains secteurs sous un intitulé commun « Economie », ou encore parlant de « Bâtiment » et non de tertiaire et de résidentiel. Le résidentiel et le transport sont cependant les secteurs les moins mal dotés.

Occasionnellement certains objectifs du rapport précisent des objectifs (cibles) opérationnels (exemple : nombre de logements à rénover par an à horizon 2030). Certains SRADDET, s'ils sont convaincants dans la présentation des éléments à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de MDE, ne conservent bien souvent pas ce niveau de détail dans le fascicule des règles, spécifiquement pour les mesures d'accompagnement ; ceci entraîne un décalage entre les intentions décrites dans le Rapport des objectifs et les mesures opérationnelles.

La majorité des SRADDET présentent généralement des cibles d'augmentation de la production d'énergie renouvelable, par filières et détaillées dans le temps, sous forme d'un tableau au sein d'un des objectifs du rapport. Seules certaines filières ne sont pas systématiquement dotées d'objectifs, telles que : géothermie haute température, biomasse liquide, chaleur environnement (pompes à chaleur), récupération chaleur fatale, déchets (valorisation énergie primaire). Parfois des filières sont regroupées, comme par exemple chaleur environnement et géothermie haute température.

Le bois énergie présente la particularité de devoir être traité autant sous son aspect « consommation », c'est-à-dire valorisation, que production, ce qui ne ressort que rarement, le volet valorisation étant plus présent.

Enfin, des objectifs de « couverture » de la consommation d'énergie par la production d'énergie renouvelable sont présentés, mais de manière hétérogène d'un SRADDET à l'autre (se référer à la section 2.1 Effort de rigueur sur le calcul des indicateurs clefs).

Mesures ayant trait à la maîtrise de la consommation énergétique

Les enjeux de maîtrise de la consommation énergétique sont traités de manière très hétérogène selon les secteurs dans la plupart des SRADDET.

De manière générale, le secteur des transports est le plus abordé, autant dans les objectifs que dans les règles. Au-delà du développement d'installations et d'offres de mobilité active, certaines mesures proposent de repenser l'espace de vie (recherche de proximité entre les lieux d'intérêt du quotidien) afin d'encourager un bassin de vie plus local, qui limite le besoin de se déplacer sur des distances importantes. Cette vision transversale de la question du transport est pertinente et encourageante.

Le résidentiel est le second secteur le mieux traité, même s'il reste lacunaire. Des mesures intéressantes sont proposées, à travers des notions de sobriété sur les volumes constructibles et d'exigence de performance énergétique pour les nouvelles constructions par exemple. La rénovation performante n'est cependant pas suffisamment accompagnée de mesures dimensionnantes.

Quant aux secteurs du tertiaire, de l'industrie et de l'agriculture, ils manquent significativement d'objectifs et de règles associées. Le tertiaire est traité de manière inégale selon les régions, mais reste lacunaire. L'industrie hors énergie n'est quasiment pas abordée, mis à part par la question de l'économie circulaire (parfois réduite à la gestion des déchets). L'agriculture n'est quant à elle pas du tout traitée sous l'angle de la maîtrise énergétique. Ces secteurs et leur consommation énergétique sont à peine abordés dans les différentes parties du SRADDET. Ces omissions compromettent grandement l'atteinte des cibles retenues pour ces secteurs.

Par ailleurs, pour l'ensemble des secteurs, il est important de noter que les mesures, lorsqu'elles existent, ne sont pas assez précises, autant sur leur mise en œuvre opérationnelle (objectifs opérationnels, échéances) que sur les méthodes et moyens pour les mettre en place. Si dans l'ensemble les SRADDET ne sont pas convaincants sur ce point, il y a des exceptions. Certains SRADDET présentent quelques règles évoquant ces éléments d'opérabilité. Cependant ce n'est qu'exceptionnellement que les trois dimensions (calendrier, objectifs opérationnels quantifiés, méthodes et moyens) sont poussées au sein d'une règle. En conséquence, dans l'ensemble les règles et mesures ne sont pas à la hauteur des enjeux et des cibles retenues par les SRADDET.

Si le niveau des mesures est hétérogène entre secteur, il l'est aussi entre SRADDET. Des fascicules sont plus complets et convaincants que d'autres.

Il ressort de cette analyse la synthèse illustrée suivante :

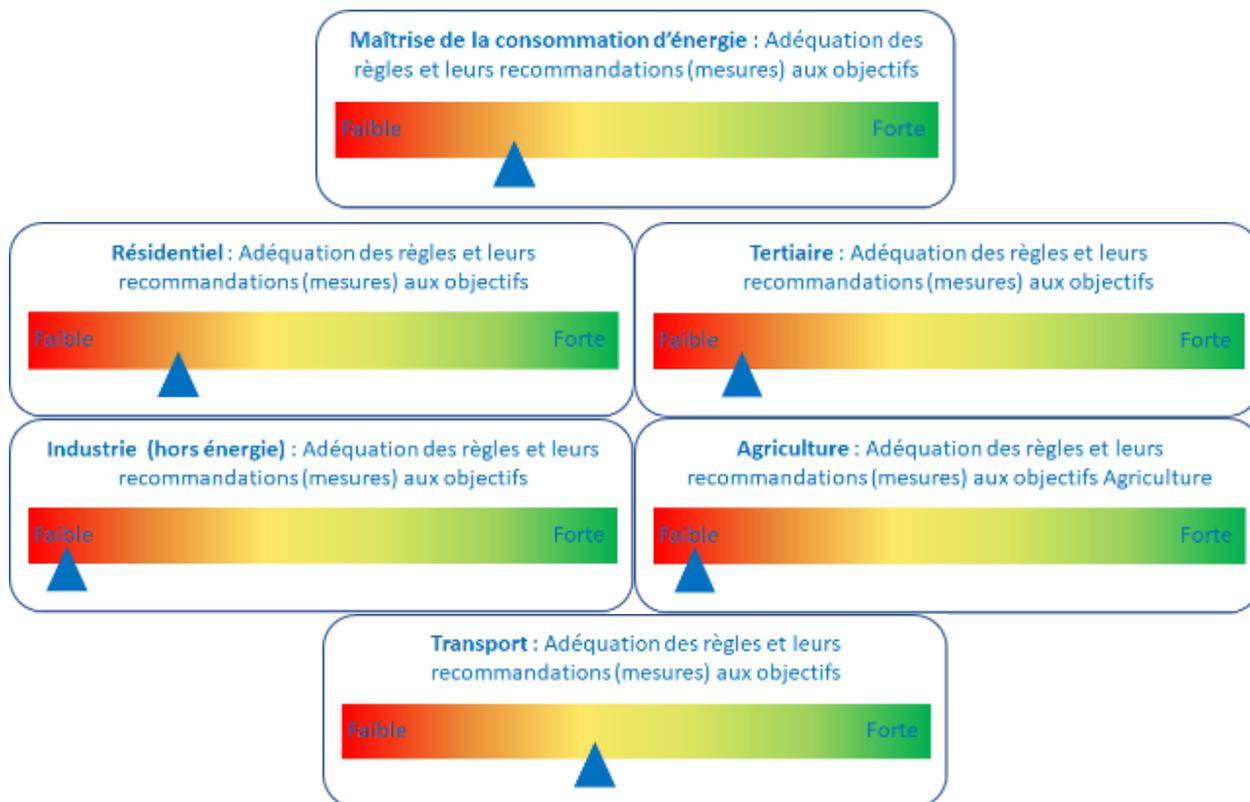


Figure 31 - Indicateurs de l'adéquation des règles et leurs recommandations (mesures) en matière de maîtrise de la consommation énergétique

Mesures ayant attiré à la production d'énergie renouvelable

Peu d'objectifs sont consacrés aux énergies renouvelables (à l'exception des seules sections Objectifs spécifiques EnR des « Rapports d'objectifs » des SRADDET, où des objectifs spécifiques aux EnR sont évoqués) et les règles qui s'y réfèrent sont imprécises. Elles ne détaillent pas les mesures à prendre pour chacune des filières, et ce malgré des ambitions de production élevées à 2050. On notera que les filières éolienne, photovoltaïque et éventuellement méthanisation sont dans quelques SRADDET abordées avec une mesure individuelle dédiée à la filière, à l'inverse des autres EnR évoquées génériquement.

Il existe une réelle nécessité de détailler davantage les mesures en lien avec le développement des énergies renouvelables. Il convient en premier lieu de proposer pour chaque filière, vouée à être développée sur le territoire, *a minima* une, voire plusieurs mesures. Dans un second temps, proposer des règles et mesures précisant à la fois une méthode et des moyens de développement, avec des objectifs opérationnels situés dans le temps, serait nécessaire. À titre d'exemple : installer XX m² ou équiper YY maisons de panneaux solaires photovoltaïque par an pendant Z ans. Enfin, les objectifs EnR gagneraient en opérabilité s'ils étaient territorialisés, par filière.

En conclusion si les EnR sont traités, c'est de manière trop globale, et insuffisamment au regard des objectifs.

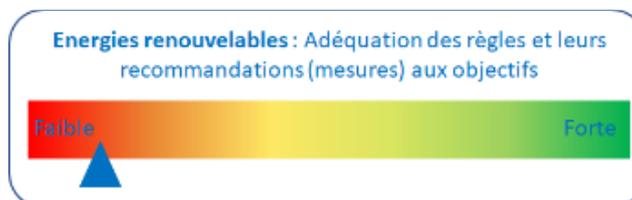


Figure 32 - Indicateur de l'adéquation des règles et leurs recommandations (mesures) en matière de production d'énergie renouvelable

Précision des mesures

L'opérabilité des mesures présentées dans les SRADDET est estimée à partir de trois critères : les mesures sont-elles accompagnées d'objectifs opérationnels ? Les moyens et méthodes pour la mettre en place sont-ils explicités et précis ? Des échéances leurs sont-elles imposées ?

De manière générale, les réponses sont plutôt négatives : les mesures contenues dans les SRADDET n'ont pas ce niveau de détail, bien que certains SRADDET donnent plus de précisions, cependant encore loin de rendre les mesures opérationnelles. C'est un point de vigilance très important car sans détails et indications opérationnelles et chiffrées, l'atteinte des trajectoires souhaitées est fortement compromise.



Figure 33 - Indicateur de la précision et l'opérabilité des règles et leurs recommandations (mesures)

Des points incertains quant à leurs effets, voire contradictoires avec les objectifs énergie, au sein des SRADDET

Un certain nombre d'éléments dans les SRADDET, principalement au niveau des objectifs, sont incertains quant à leurs conséquences sur les trajectoires énergétiques et d'autres sont même explicitement en contradiction. Ainsi le développement des réseaux et infrastructures routières, aéroportuaires ou maritimes - notamment lorsqu'ils sont tournés vers l'international - ne vont pas dans le sens d'une réduction, mais plutôt d'un développement, d'usage des modes de transport fortement consommateur d'énergie les employant : voitures individuelles, avions, porte-conteneurs ou bateaux de croisière.

Si nombre de territoires semblent miser sur un secteur aéronautique neutre en carbone et sobre en énergie - pari risqué car en attendant ce futur hypothétique le développement de l'aérien sera source d'augmentation des consommations d'énergie fossile - d'autres semblent beaucoup miser pour le transport sur les carburants alternatifs aux fossiles : bioGnV, hydrogène, etc. Or leur développement n'implique pas nécessairement de sobriété dans le choix du mode de transport (par exemple : individuel ou collectif) ni dans l'efficacité de ce dernier (par exemple : poids et volume adapté à l'usage), éléments pourtant nécessaires à la baisse de la consommation (à besoin de mobilité constant ou croissant). Les régions doivent donc rester vigilantes et appuyer leurs mesures favorisant directement les modes actifs ou les transports collectifs, voire la réduction de certains déplacements.

Le développement de pôles d'excellence logistique, ou du tourisme, sont quant à eux plus incertains quant à leur impact, dépendant des choix de mise en œuvre. Le report modal vers des modes de transports de marchandises propres ou le développement du tourisme vert ou local n'est pas nécessairement le débouché le plus attendu de ce type d'objectif. Enfin, les aspects numériques tels que la voiture autonome ou, dans une moindre mesure, la domotique, peuvent amener des effets rebonds : augmentation du nombre de passagers.kilomètre ou augmentation de la consommation d'électricité spécifique, en fonction de leur mise en œuvre. Ces points doivent donc être approfondis.

Ces objectifs font donc courir un risque élevé de non atteintes des trajectoires énergétiques (objectifs de MDE) des SRADDET. Ils donneront du poids et des arguments aux acteurs sectoriels pour justifier leurs actions en défaveur de la MDE.



Figure 34 - Indicateur du niveau de risque dû aux règles et objectifs contradictoires ou incertains

La forte présence sémantique dans les SRADDET du vocabulaire de l'attractivité et du développement est à mettre en perspective de la faible présence des termes d'efficacité énergétique mais surtout de sobriété, deux termes figurant pourtant dans le code de l'énergie comme étant des leviers nécessaires à actionner dans les politiques énergétiques nationales et locales. Ceci illustre les objectifs divers et en partie contradictoires qui sont concaténés dans les SRADDET.

Au niveau des règles et mesures, les éléments incertains ou contradictoires semblent moins marqués. Cependant des éléments peuvent freiner l'atteinte des objectifs, particulièrement pour les secteurs transport et résidentiel, ainsi que les filières éolienne et photovoltaïque.

Premièrement, les mesures incitant au développement des infrastructures routières dans le but de limiter les congestions ou d'accroître la sécurité (contournement, déviation) font également courir le risque d'augmentation de la consommation d'énergie. L'expérience montre que le développement de nouvelles infrastructures routières entraîne inévitablement une hausse du trafic routier. Ces nouveaux aménagements envisagés sont donc incompatibles avec l'atteinte des objectifs de réduction des consommations d'énergie et des émissions de CO₂.

Certaines mesures semblent pouvoir inciter à la construction plutôt qu'à la rénovation, ou parfois proposer un bonus à construire des bâtiments performants plus volumineux que de besoin, ou encore risquent d'aboutir à des rénovations non performantes.

Certaines régions sont soucieuses de maîtriser le développement des EnR, notamment l'éolien, mettant en avant la protection du paysage, du patrimoine ou de la biodiversité ou pariant sur l'implication des citoyens pour une meilleure acceptation sociale. Ces éléments peuvent faire craindre dans certains cas des blocages de projets éoliens mais également photovoltaïques, ou encore un frein à des rénovations performantes de bâtiments dans certaines zones. Si l'énergie n'est pas l'unique enjeu environnemental et que les débats sont nécessaires sur les lieux d'implantation et les aspects des rénovations, ces mesures ne doivent pas servir d'alibi pour freiner la transition.

Ces éléments révèlent les injonctions contradictoires de l'Etat dans ses demandes aux collectivités territoriales sur la variété des thématiques et enjeux que la loi NOTRe demande au SRADDET de traiter. Ainsi, être attractif au sens économique dans un contexte international concurrentiel aux normes sociales et environnementales inégales, développer les réseaux de transports, d'informations, etc. et réduire les consommations d'énergie notamment *via* la sobriété ne sont pas, dans la version actuelle des SRADDET, des objectifs compatibles.

Des objectifs multiples dont certains concourent aux objectifs énergie

Si certains objectifs sont incertains, voire contradictoires aux enjeux énergie, en revanche un certain nombre d'objectifs non fléchés explicitement énergie concourent à ces derniers, spécifiquement dans les secteurs du transport et de l'habitat.

4.6.4. Recommandations

L'analyse de ces différents SRADDET permet de formuler les recommandations suivantes pour la réalisation de futurs exercices :

- harmoniser la présentation des trajectoires énergétiques, notamment en couvrant l'ensemble des secteurs, mais également en clarifiant ces documents complexes : les liens entre trajectoires énergétiques, objectifs, règles et mesures doivent être clairs et facilement identifiables ;
- décliner les cibles énergétiques par secteurs de consommation et filières de production, et les munir d'objectifs opérationnels ;
- territorialiser les objectifs de production d'énergie renouvelable ;
- préciser davantage les mesures : moyens et méthodes envisagés, définition d'objectifs opérationnels et planifiés dans le temps ;
- mettre en cohérences les mesures - nombre et impacts (niveau d'exigence) - avec les ambitions affichées dans les objectifs ;
- mettre en cohérence l'ensemble du SRADDET : les enjeux énergie doivent être pris en compte dans tous les volets, particulièrement dans ceux traitant du développement des infrastructures routières ou aéroportuaires, du transport maritime, mais également du tourisme ou encore de la logistique.

Cette analyse, formulée pour l'ensemble des SRADDET, ne doit pas laisser penser que tous sont homogènes : certains se démarquent sur le sujet énergie, positivement ou négativement. Cette première analyse est globale et nombre de sujets nécessiteraient des approfondissements pour consolider les éléments présentés. Cette matière permet néanmoins de pointer d'ores et déjà des lacunes et des faiblesses de ces exercices, et de les mettre en discussion.

5.

Synthèse

5.1. Problèmes d'hétérogénéité en termes de méthode et de données

Cette analyse a tout d'abord mis en lumière les difficultés méthodologiques déjà identifiées précédemment, avec une confirmation de l'hétérogénéité des approches, mais aussi de nombreuses lacunes dans les trajectoires décrites dans les SRADDET.

Ces difficultés ont néanmoins pu être en partie contournées par un certain nombre de calculs et hypothèses effectués par nos soins, ainsi qu'avec des données externes aux SRADDET. Ces éléments complémentaires mériteraient toutefois de faire l'objet d'analyse de sensibilité, afin d'en évaluer l'impact sur les résultats. Les principaux domaines concernés sont le nucléaire, les agrocarburants, et les parts de marché des différents vecteurs dans la consommation finale.

Une partie de ces problèmes de cohérence méthodologique provient de différences de comptabilité énergétique (et GES) au niveau des différentes régions. Ce point, souligné régulièrement et encore rappelé dans le [rapport annuel 2020 du Haut Conseil pour le Climat](#), fait l'objet d'un projet spécifique financé par l'ADEME et porté par le Réseau des Agence Régionales de l'Energie (RARE).

Une autre difficulté d'ampleur concerne les limitations du périmètre de responsabilité de la Région, par rapport aux échelons territoriaux supérieurs (Etat, Europe) et inférieurs (intercommunalités). Certains domaines de la prospective énergétique, notamment les filières nucléaire et fossiles, peuvent être considérées comme du ressort de la politique nationale et ne sont donc que très peu traités dans les SRADDET. Inversement, une part non négligeable des efforts à fournir sur le territoire régional sont en réalité portés par les intercommunalités, comme le souligne également le rapport du HCC. Le SRADDET reste toutefois pertinent, ne serait-ce que pour coordonner les efforts des échelons inférieurs ; les objectifs régionaux ne semblent cependant fournir que peu voire pas de clefs de répartition entre territoires.

5.2. Des résultats régionaux globalement plus ambitieux que les objectifs nationaux à court terme, et inversement à long terme

Comme on l'a vu plus haut, les régions se trouvent souvent être plus ambitieuses que la PPE (pour ses horizons de temps 2023 et 2028), puis sont comparables aux objectifs nationaux pour 2030 que l'on trouve dans la LTECV, la Loi Energie Climat 2019 et la SNBC2. En revanche, les régions restent loin d'atteindre les cibles fixées pour 2050 par la Loi Energie Climat et la SNBC 2, notamment celle de la neutralité carbone.

Une partie de l'explication réside dans le fait que certaines prospectives régionales examinées ici sont relativement anciennes¹⁵ et visaient d'anciens objectifs long terme (facteur 4 sur les émissions de GES), qui sont devenus caduques avec l'évolution des objectifs nationaux vers des cibles plus ambitieuses (neutralité carbone, qui implique un facteur 6 sur les émissions de GES). Ceci ne peut toutefois tout expliquer, car ce qui est vrai pour l'objectif de réduction GES ne l'est pas pour d'autres objectifs n'ayant que peu évolués au cours des dernières années (consommation d'énergie finale, taux d'EnR dans la consommation en énergie finale). Le fait que les exercices régionaux se trouvent être plus ambitieux que la PPE pourrait également s'expliquer de la même façon : lors de la rédaction du document de planification régionale, les cibles PPE 2023 et 2028 étaient lointaines, il y a donc un décrochage entre la trajectoire effective et les projections initiales, optimistes. Le diagramme ci-dessous tente d'illustrer ce double décalage court-terme / long-terme.

¹⁵ Certains documents étant en réalité des SRCAE, datant de 2013, avec des données encore antérieures !

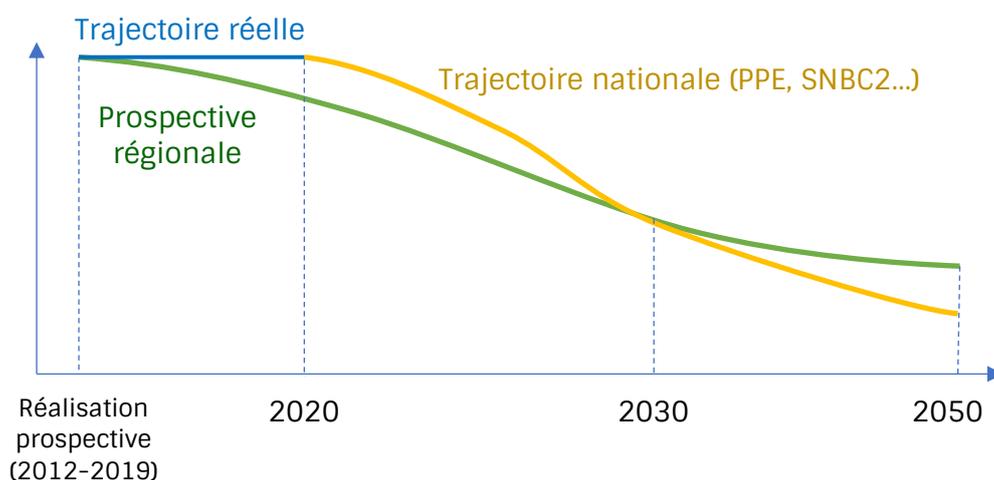


Figure 35 - Exemple de décalage de trajectoires régionales et nationales

5.3. De forts déséquilibres dans les vecteurs

En examinant les équilibres entre production et demande pour chacune des familles de vecteurs énergétiques, on peut constater des déséquilibres significatifs sur de nombreux vecteurs, et notamment une forte surproduction d'électricité (en partie explicable par un maintien relatif du nucléaire – en l'absence d'hypothèses claires à ce niveau) et à l'inverse un gros déficit sur le gaz.

Il est probable que cette incohérence provienne d'un manque de conscience de la problématique lors de la réalisation de l'étude prospective. En effet, si beaucoup de régions affichent un objectif de « 100 % EnR » ou de « région à énergie positive », il est fréquent que cet objectif politique soit compris de façon simpliste, comme une adéquation entre la production renouvelable totale (tous vecteurs confondus) et la consommation finale. Ces appellations mériteraient donc d'être mieux définies, et peut-être standardisées au niveau national (tout comme le mode de calcul du taux d'EnR dans la consommation finale est encadré par une directive européenne).

5.4. Un besoin de dialogue inter-régional

Toutes les régions ne sont pas égales devant leur potentiel renouvelable et leur baisse de consommation, de part leur grande diversité de densités de population et leurs caractéristiques physiques. Cette notion de territoire autosuffisant en EnR est donc potentiellement trompeuse pour atteindre un ensemble cohérent avec les enjeux nationaux :

- Une région disposant de vastes ressources renouvelables et d'une population faible pourra être tentée de limiter son effort et brider son potentiel
- A l'inverse, l'objectif de 100 % EnR locales peut se révéler difficile à atteindre pour des régions très urbanisées¹⁶

Pour les prochaines révisions des SRADDET, il semble donc crucial de mettre en place un dialogue inter-régional afin de se répartir les efforts qu'il reste à fournir, particulièrement pour le long terme, qui restent en deçà des objectifs nationaux.

¹⁶ L'Ile-de-France est emblématique de ce cas de figure. Il est intéressant de noter que la stratégie « énergie-climat » publié par cette région en 2018 vise à tendre vers cet objectif *via* une réduction de la consommation, un développement des EnR et des importations de renouvelables à hauteur de 50 % du total de la consommation d'EnR.

5.5. Mesures d'accompagnement : renforcer, détailler et assurer la cohérence au sein des SRADDET

Tous les SRADDET ne présentent pas le même niveau de complétude des mesures d'accompagnement, ni le même niveau de cohérence entre elles. Cependant l'analyse des SRADDET révèle globalement que :

- Les objectifs de maîtrise de la consommation d'énergie ne sont pas suffisamment détaillés par filières ;
- Les objectifs de MdE ou de développement des EnR ne sont pas suffisamment déclinés en objectifs opérationnels ;
- Les mesures d'accompagnement des règles pour la maîtrise de la consommation d'énergie sont d'un niveau hétérogène selon les filières. Elles sont plus conséquentes pour les secteurs tertiaire, résidentiel et plus particulièrement transport, tout en restant pour chaque secteur insuffisantes compte tenu des objectifs des régions ;
- Les objectifs de développement de la production d'énergie renouvelable sont dans l'ensemble bien détaillés ;
- Les mesures d'accompagnement (des règles, présentées dans les Fascicules des règles de chaque SRADDET), pour le développement de la production d'énergie renouvelable sont insuffisantes, compte tenu des objectifs des régions. De plus elles ne présentent quasiment pas de détails par filière (à l'exception des filières éolienne, photovoltaïque et éventuellement méthanisation qui disposent généralement d'une unique mesure nominative par SRADDET) ;
- Les mesures d'accompagnements, dans l'ensemble, ont un niveau d'opérabilité très faible, elles ne sont pas suffisamment opérationnelles, manquant d'objectifs détaillés, de moyens et méthodes ainsi que de planification ;
- Dans les SRADDET il existe nombre d'objectifs ou de mesures contradictoires aux enjeux énergétiques, tels que les développements des infrastructures routières ou aéroportuaires, du transport maritime, mais également du tourisme ou encore de la logistique. Ceci constitue un véritable risque de non atteinte des objectifs énergétiques pour les SRADDET.

6.

Perspectives d'amélioration de notre analyse

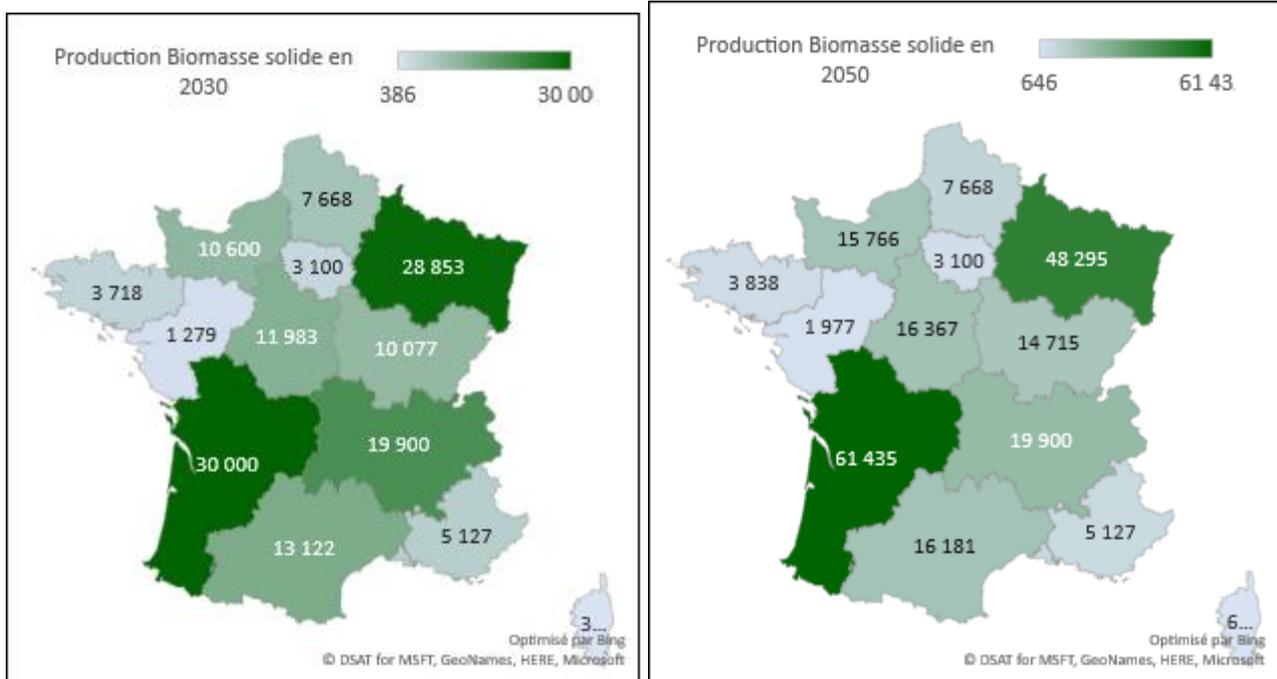
Les domaines d'améliorations suivants permettraient de consolider les résultats de ce rapport et de les rendre plus pertinents :

- Amélioration de la qualité des données :
 - Mise à jour corrective pour les régions ayant fait l'objet d'amendements suite à la consultation publique.
 - Mise à jour des données des 4 régions de la phase 1 selon les modifications des SRADDET (et mise en conformité avec les autres régions lorsqu'il est nécessaire de faire des hypothèses).
 - Échanges approfondis avec les OREGES et bureaux d'études pour combler les manques de données et lever certaines incertitudes.
- Analyses de sensibilité des différents paramètres utilisés dans le modèle, pour évaluer la robustesse des résultats vis-à-vis des hypothèses formulées.
- Restitution des systèmes énergétiques régionaux sous forme de diagrammes de Sankey.
- Intégration d'une approche gaz à effet de serre (comprenant les volets puits de carbone et émissions de GES non énergétiques).
- Constitution d'un groupe de travail sur la territorialisation des objectifs (méthodologie) permettant de répondre aux questions suivantes ;
 - Comment décliner des objectifs globaux sur des territoires ?
 - Quels déterminants considérer ? (nombre de logements, tissu industriel, surface agricole utile, cheptel, surface boisée, etc.)

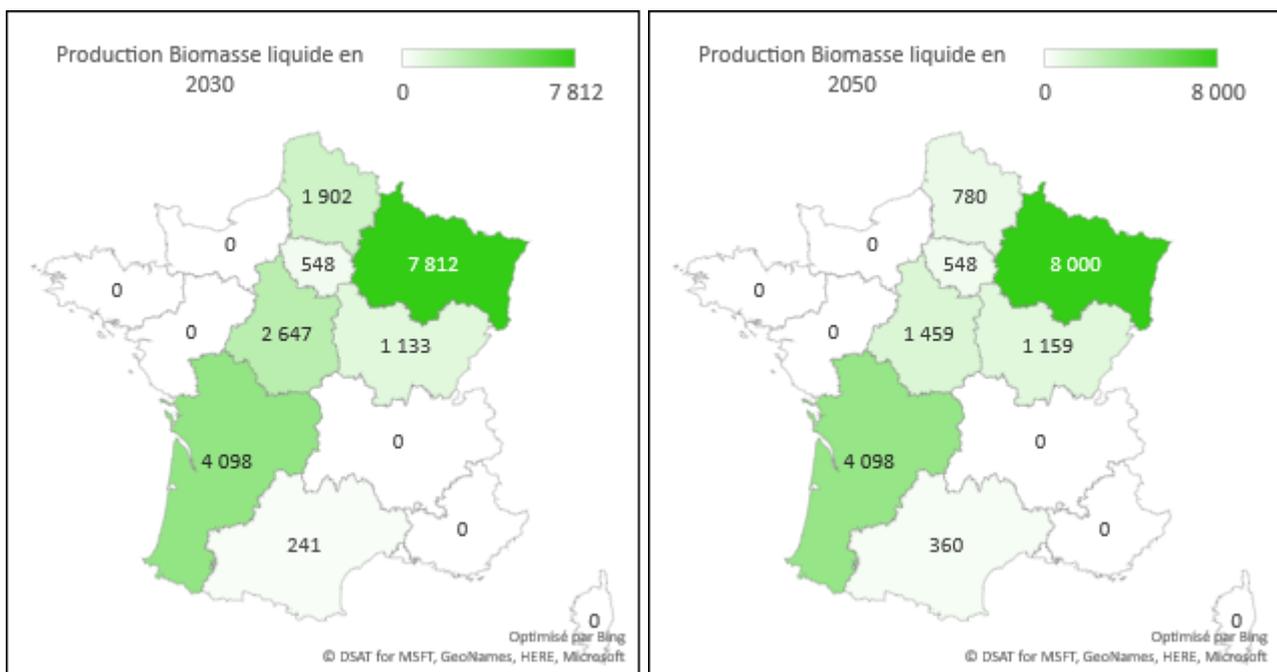
7.

Annexe 1 : Cartes des productions régionales d'EnR par filière

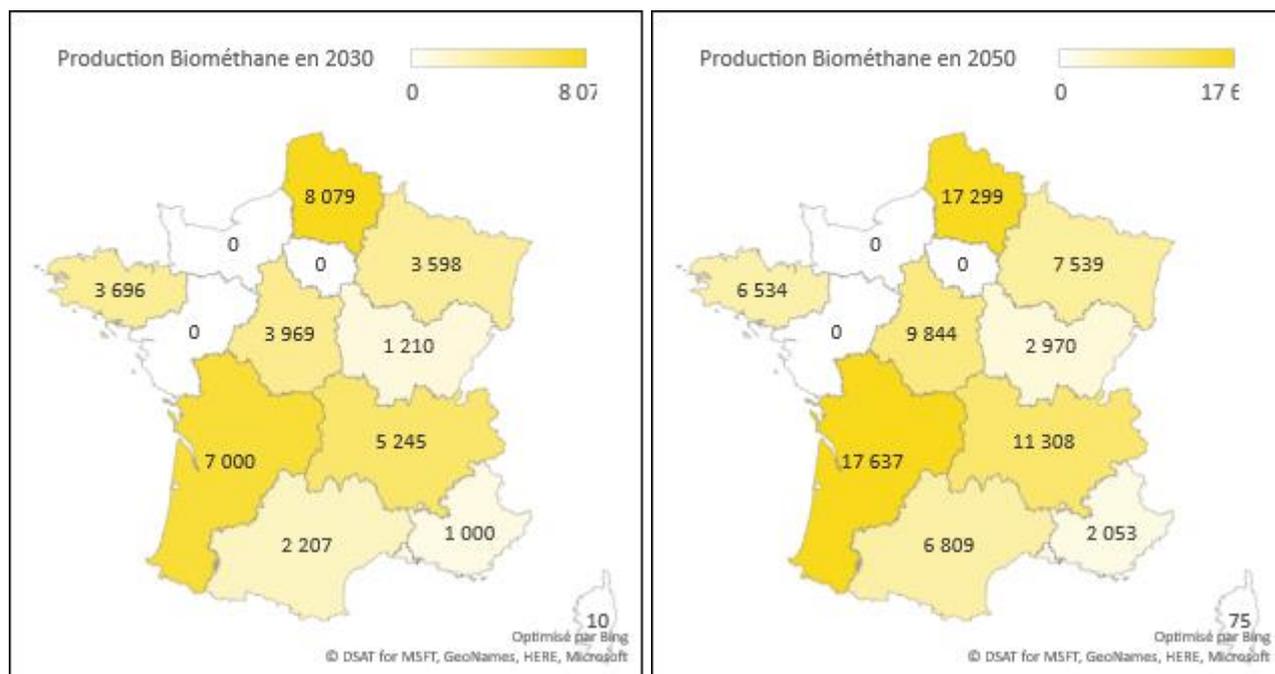
7.1. Production de combustible biomasse solide (GWh PCI)



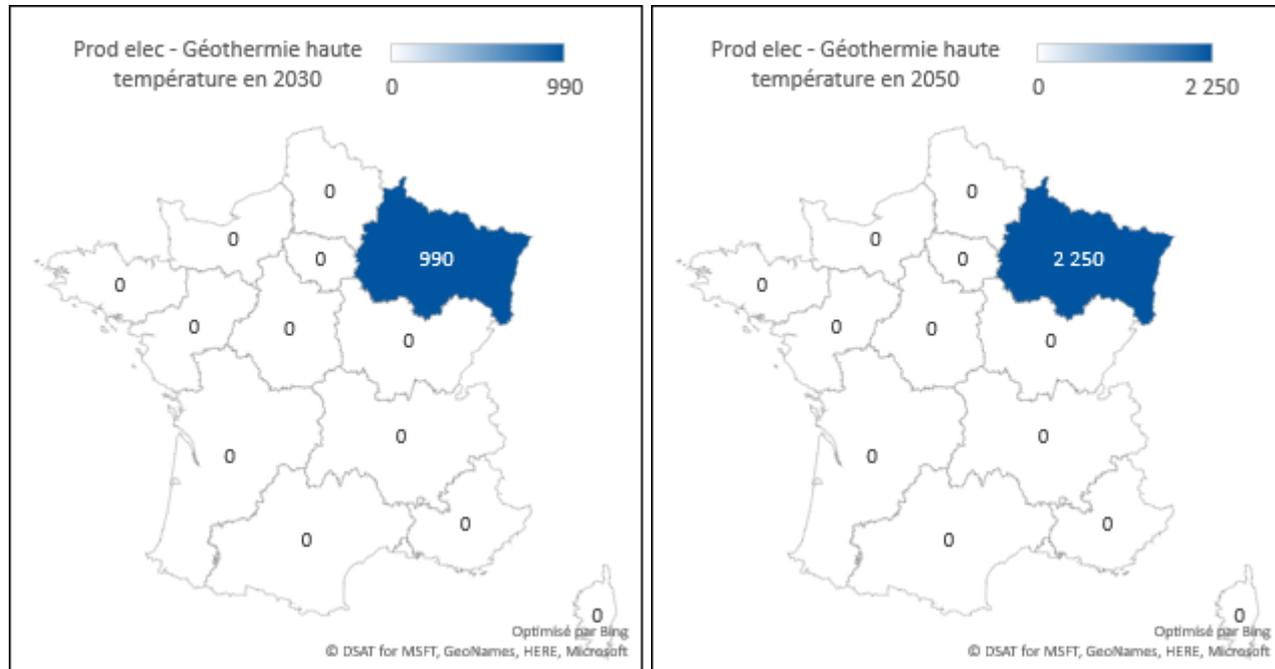
7.2. Production d'agrocarburants (GWh PCI)

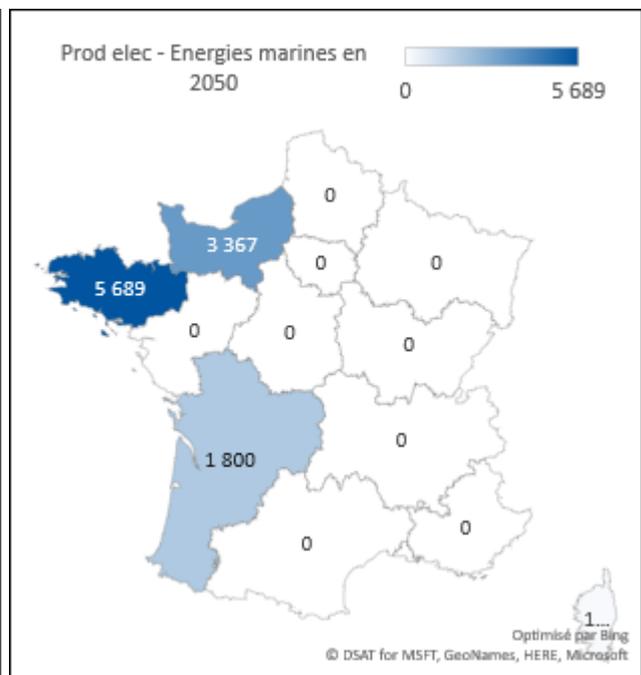
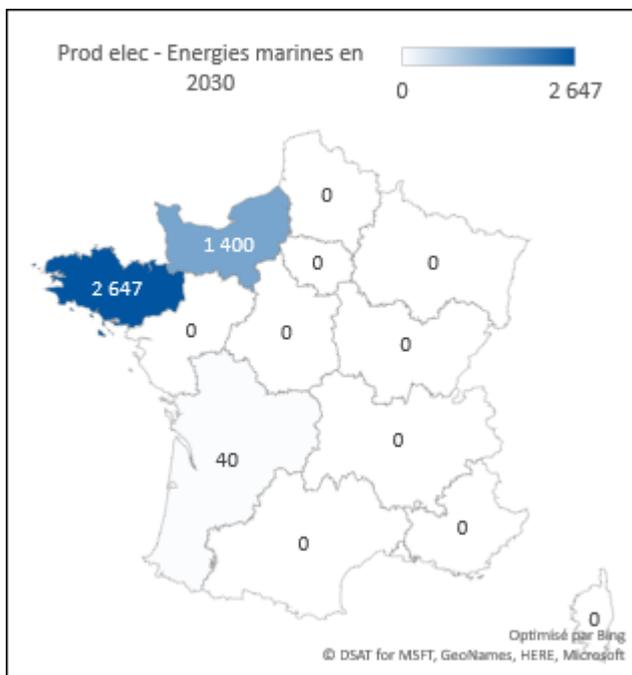
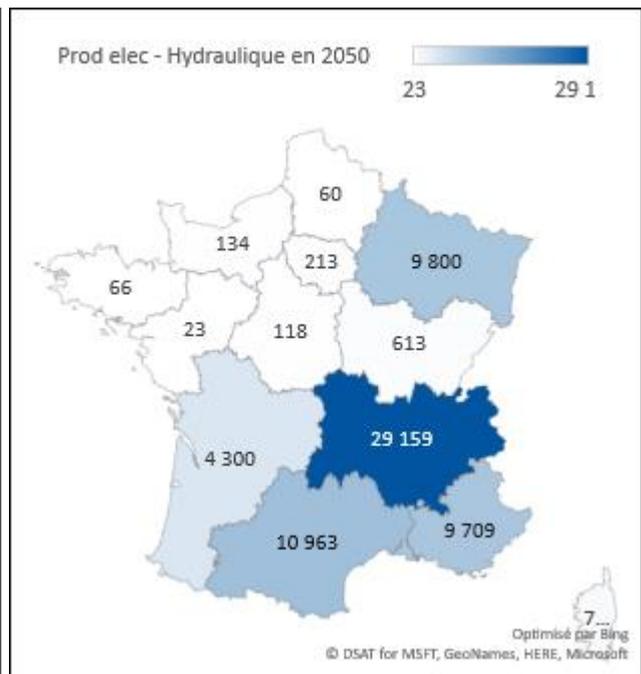
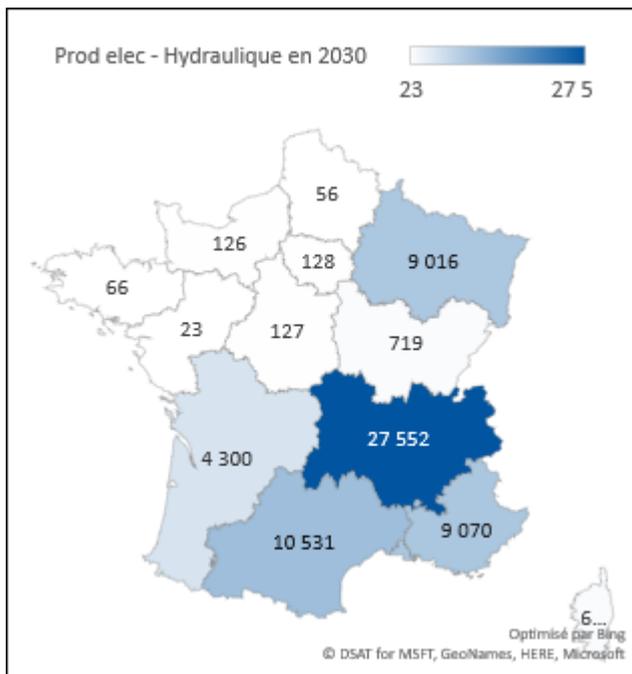


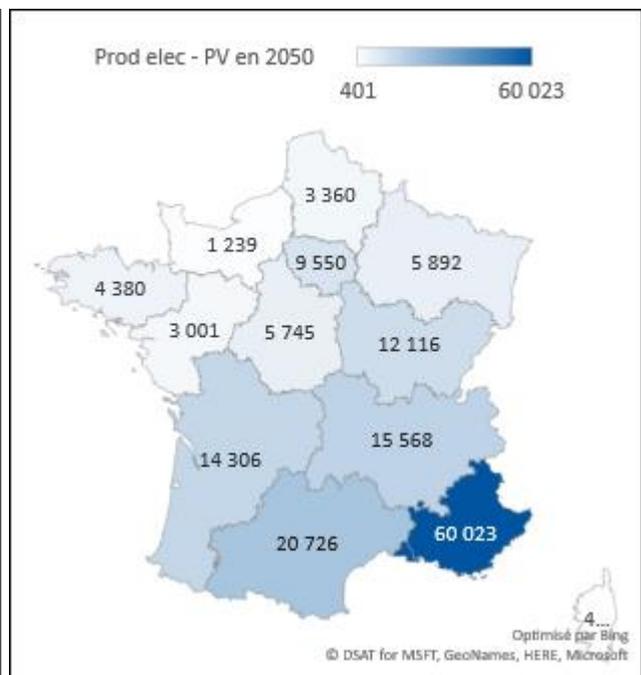
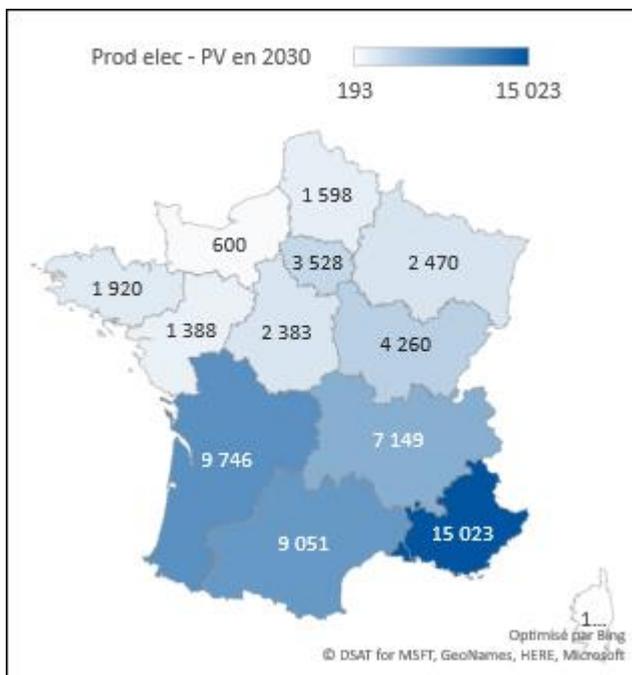
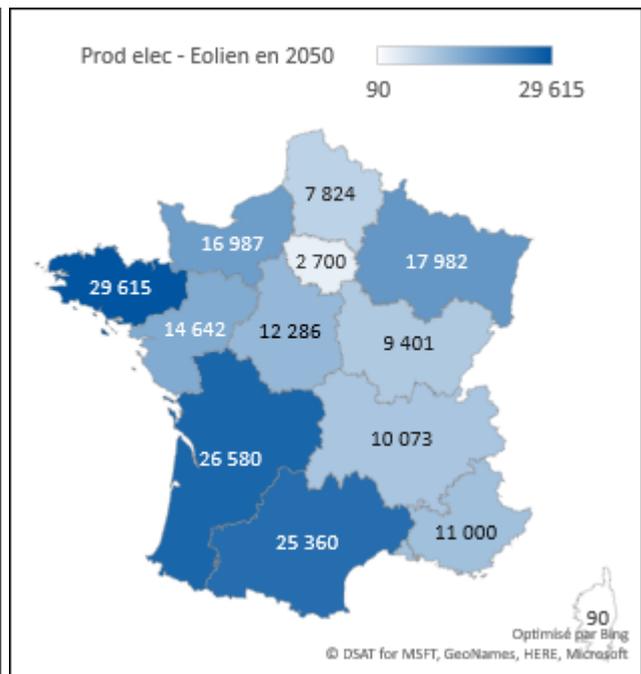
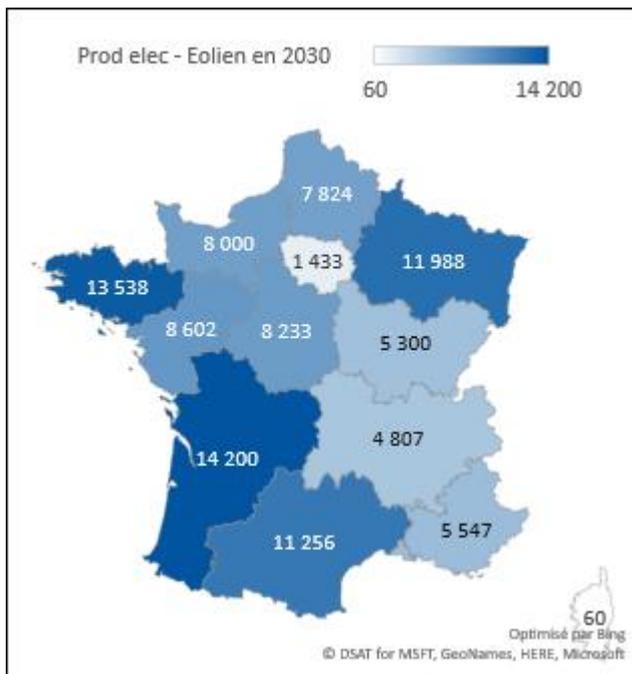
7.3. Production de biométhane (GWh PCI)

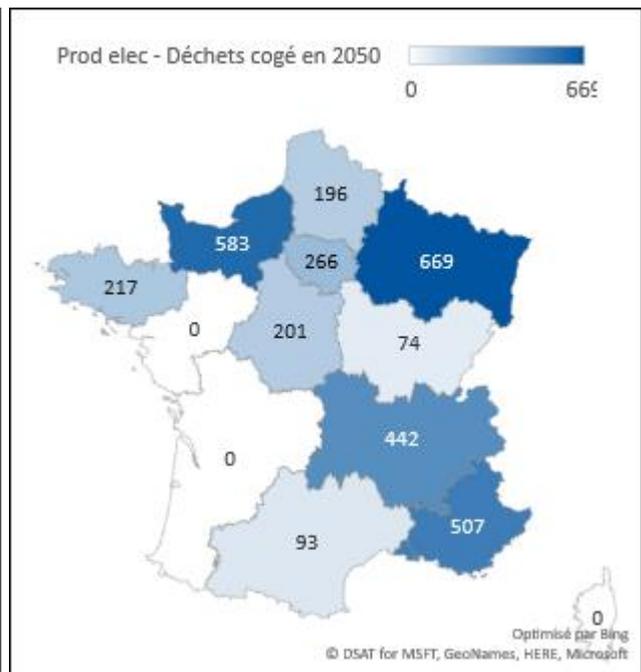
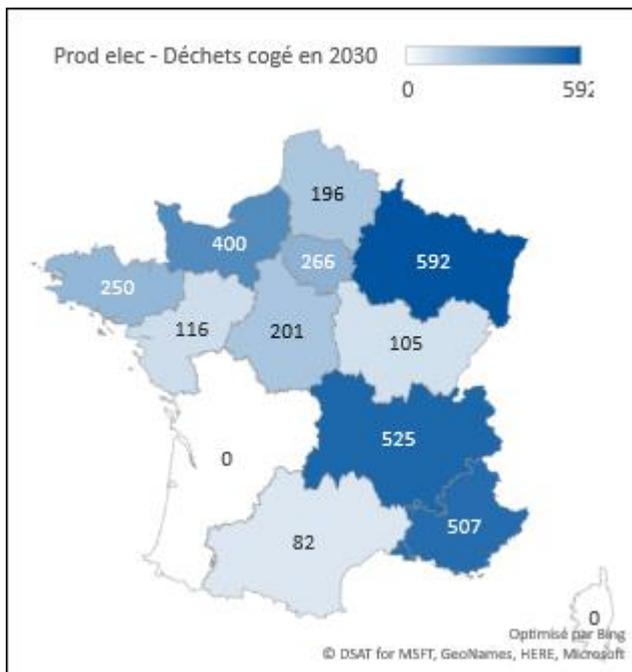


7.4. Production d'électricité d'origine renouvelable (GWh)

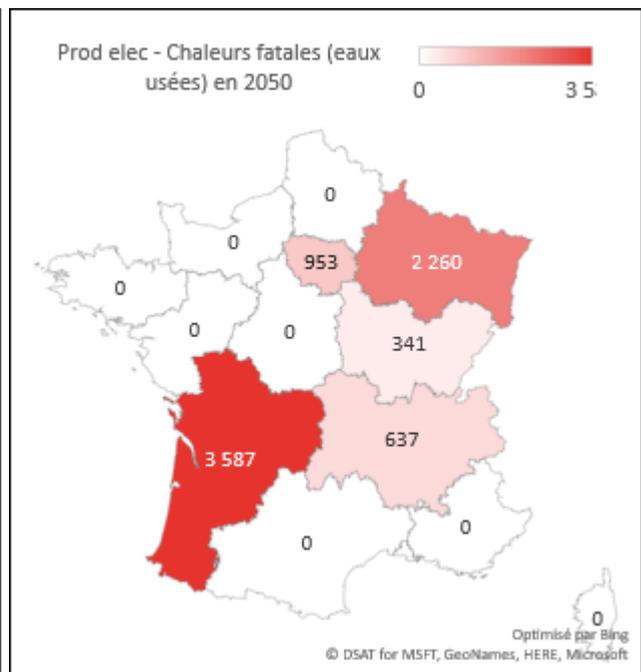
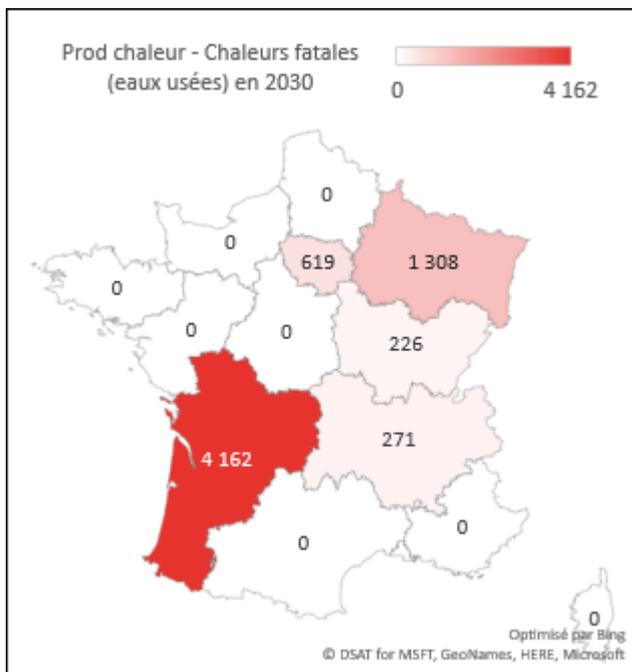


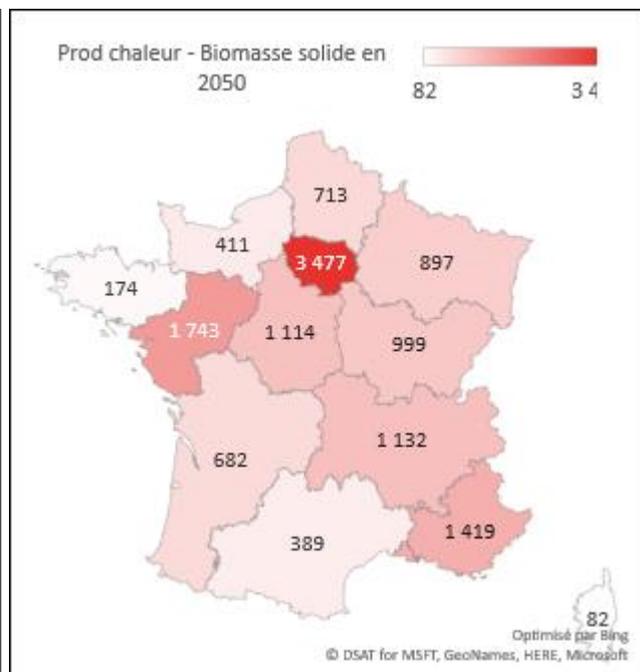
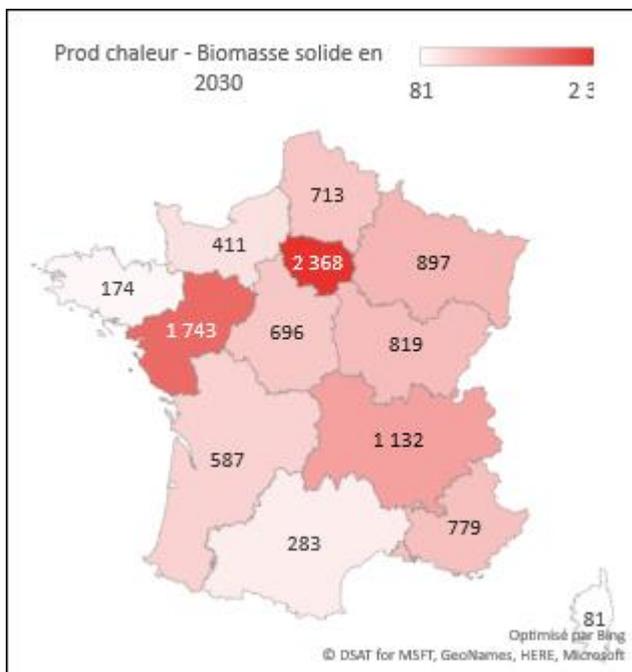
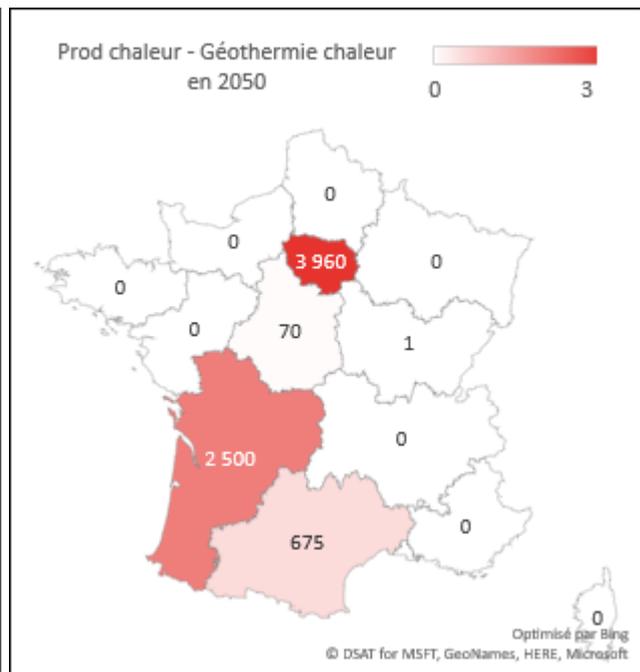
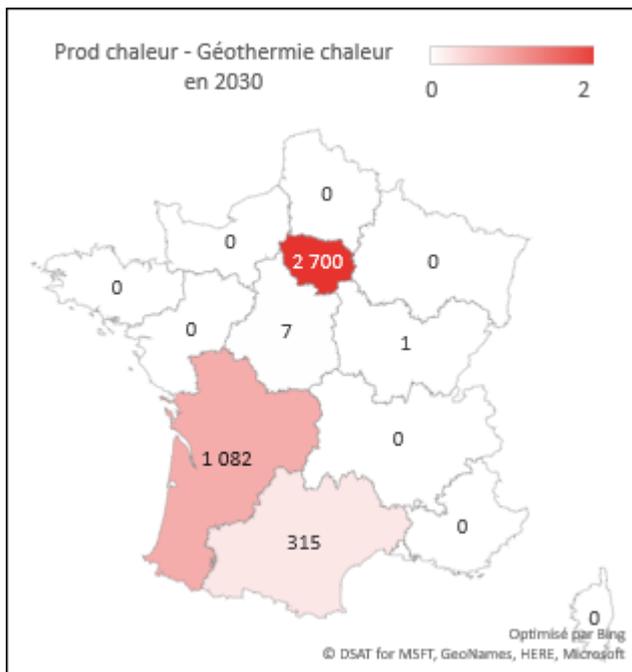


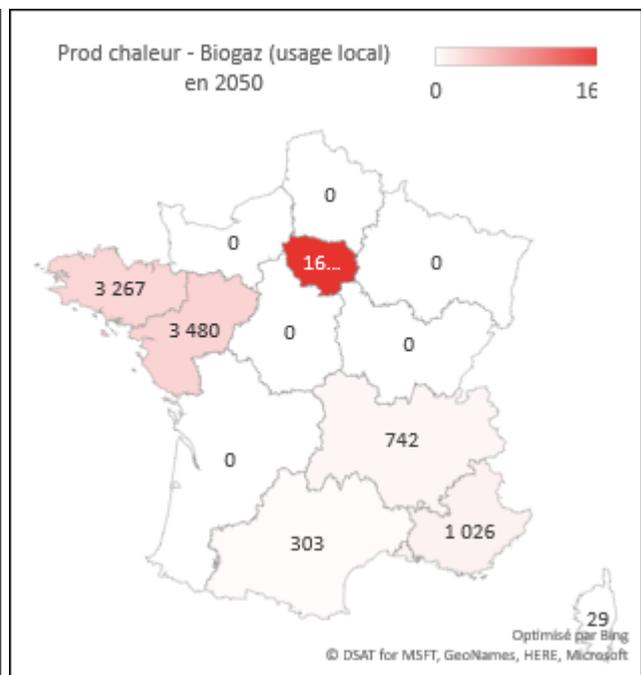
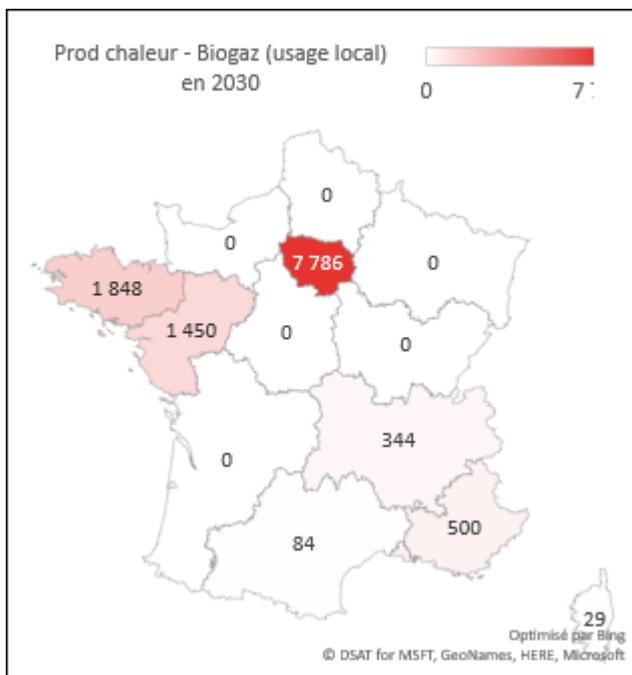
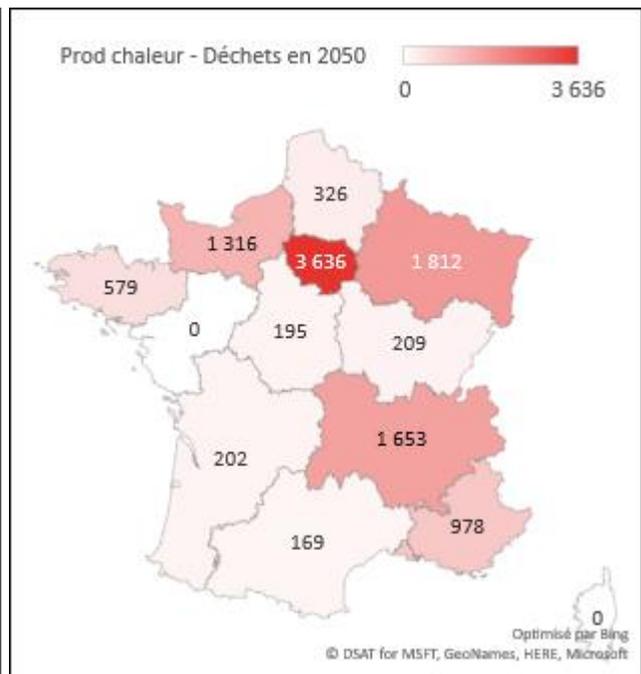
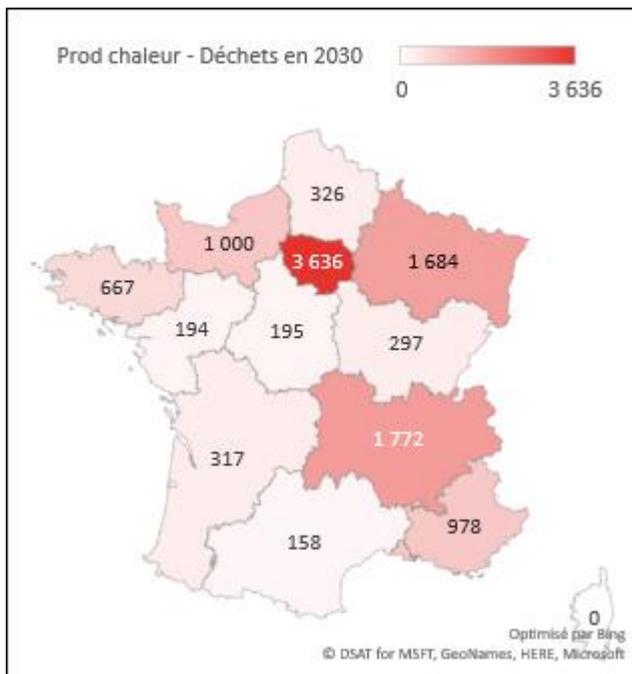


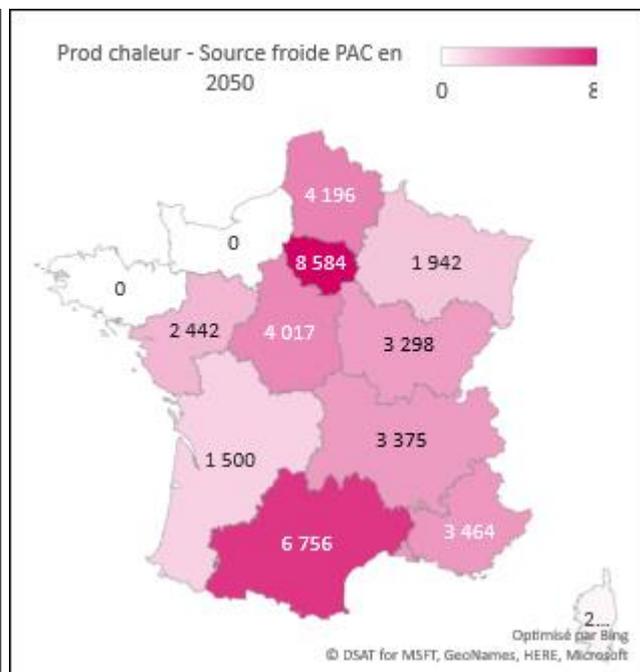
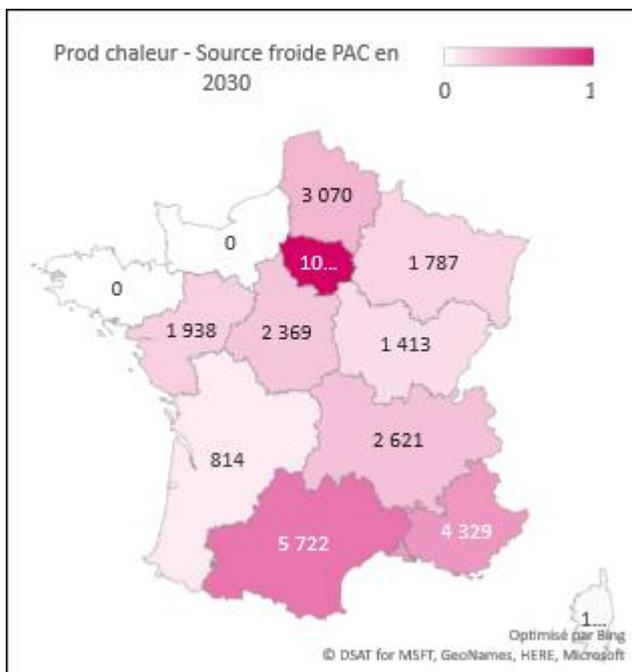
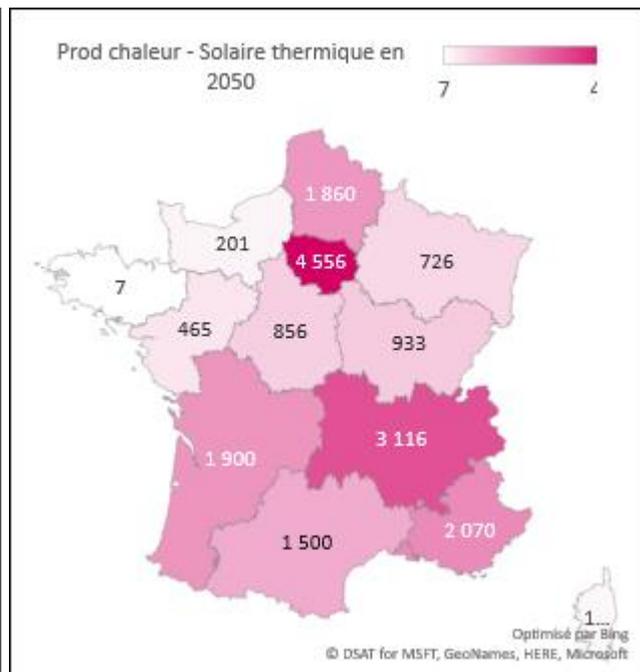
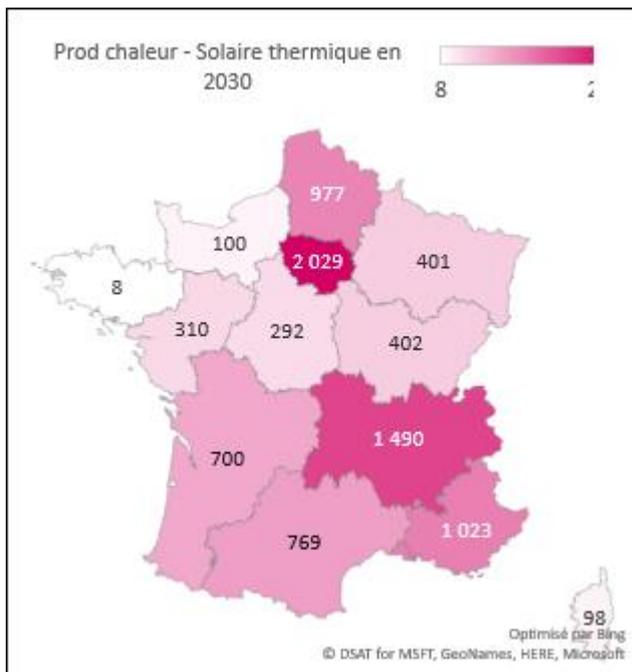


7.5. Production de chaleur d'origine renouvelable (GWh)









8.

Annexe 2 : Commentaires sur les données et hypothèses effectuées pour chaque région

8.1. Auvergne-Rhône-Alpes

NB : le document étudié ici, « Ambition Territoires 2030 » est la version « arrêté » consultée à l'automne 2019, qui ne poussait la prospective qu'à l'échéance 2030. Une version amendée a été produite lors de l'adoption du SRADDET fin 2019 (suite à avis négatif de l'autorité environnementale). Cette dernière version a poussé les objectifs à 2050, ces chiffres n'ont pu être intégrés dans ce rapport, ils le seront lors de la phase 3.

8.1.1. Demande

- Hypothèses de baisse par secteur de demande jusqu'à 2030 seulement, nous avons supposé un alignement avec l'objectif national de -50 % en 2050 (vs 2012)
- Pas d'hypothèses chiffrées sur l'évolution des parts de marché des différents vecteurs¹⁷, nous sommes donc repartis des répartitions par vecteur issues des données ORCAE, et nous avons supposé un maintien sauf pour le secteur résidentiel. Pour ce dernier, nous avons repris les chiffres de production des pompes à chaleur, de la géothermie et du solaire thermique, et on a supposé un remplacement progressif du fioul et du combustible méthane par ces énergies en compensation.
- L'ORCAE comptabilise une famille de vecteur « déchets », essentiellement utilisés par industrie, nous avons assimilé cette consommation à la chaleur issue de réseaux.

8.1.2. Production

- Les objectifs étant fournis à l'horizon 2030, nous les avons prolongés linéairement à 2050, sauf pour la biomasse dont le gisement potentiel est estimé d'après le Schéma Régional Biomasse. Il y a d'ailleurs une incertitude sur les objectifs fournis par le SRADDET jusqu'à 2030 pour la biomasse : s'agit-il de production de combustible, de consommation finale, ou de consommation brute (finale + usages internes) ? Nous sommes partis du principe qu'il s'agissait de production de combustible.
- En l'absence de précision sur le mode de valorisation du biogaz (cogénération / injection biométhane), c'est également le Schéma Régional Biomasse qui nous permet d'évaluer à 88 % le potentiel de l'injection biométhane dans la valorisation totale du gisement.
- En l'absence de perspectives sur l'évolution de la production d'électricité à partir de sources fossiles et nucléaires, on suppose une disparition progressive des énergies pétrole et charbon (de toute façon en quantités faibles), et un maintien des capacités gaz et nucléaire.

8.2. Bretagne

Le SRADDET breton est issu d'un travail de co-construction intitulé la « Breizh COP », lui-même issu de la COP 21. Cette prospective avait pour horizon 2040. Néanmoins, la plupart des objectifs chiffrés sont poussés jusqu'à 2050.

8.2.1. Demande

- Pas d'hypothèses chiffrées sur l'évolution des parts de marché des différents vecteurs, nous avons donc conservé la répartition pour 2015 issue des « chiffres clefs » de l'OREGES « Bretagne Environnement ». Ce maintien paraît toutefois peu probable, en considérant les évolutions significatives sur les dernières années (remplacement progressif du carburant liquide par le gaz)

¹⁷ La mobilité est mentionnée à ce niveau mais de façon qualitative uniquement : « substitution énergétique permettant de s'affranchir du tout pétrole : augmentation de la part des véhicules électriques et gaz (Bio-GNV et H2) ».

- L'OREGES regroupe les secteurs résidentiel et tertiaire dans un même ensemble en 2015, nous avons donc conservé la répartition issue des chiffres 2014.
- Pas de données sur l'usage des pompes à chaleur (cette technologie n'étant ici pas considérée comme renouvelable du fait de sa consommation d'électricité)

8.2.2. Production

- En l'absence de précision sur le mode de valorisation du biogaz (cogénération / injection biométhane), nous avons supposé une répartition égale entre ces deux technologies.
- Les données RTE sont bien supérieures aux estimations SRADDET (d'un facteur 10) pour la production d'électricité d'origine hydraulique
- Le mode de valorisation de l'incinération des déchets n'est pas précisé. Déchets ne précisent pas la valorisation, nous avons tenté de reconstituer les hypothèses à partir de données RTE (vente d'électricité à partir de cogénération) et SNCU (vente de chaleur)

8.3. Corse

La Corse n'est pas tenue de produire un SRADDET, mais elle dispose d'un « Plan d'aménagement et de développement durable de la Corse » (PADDUC), qui comprend un SRCAE publié en octobre 2013. Ce document, offrant une vision à l'horizon 2050, a été complété de la PPE plus récente de 2015 pour certaines données. Lorsque plusieurs scénarios sont fournis dans le SRCAE, nous avons retenu le plus ambitieux (« rupture »), visant l'autonomie énergétique, afin de ne pas désavantager la région par rapport aux autres documents beaucoup plus récents... La cible « rupture » / neutralité carbone étant maintenant devenue une politique nationale.

Le contexte insulaire rend par ailleurs la situation du système énergétique Corse assez particulière, du fait de son interconnexion partielle avec le continent (en électricité mais pas encore en gaz méthane, avec présence néanmoins d'un réseau de gaz propane).

8.3.1. Demande

- Chiffres d'évolution de la consommation par secteur de 2008 à 2050. La valeur 2014 a été recalée à partir des données OREGES contenues dans la PPE de 2015.
- La répartition des vecteurs a ensuite été récupérée dans le PADDUC :
 - **Transport** : évolution progressive des vecteurs vers électricité et gaz en 2050 (production *a priori* insuffisante toutefois vis-à-vis des objectifs de mobilité gaz)
 - **Résidentiel** : répartition disponible pour 2008, mais les chiffres ne comprennent pas la chaleur environnement : on y a donc ajouté la production solaire thermique, aérothermie, géothermie et thalassothermie. Par ailleurs les hypothèses d'évolution des parts de marché vecteurs sont exprimées en nombre de logement et non en énergie. Il est notamment question de développer les réseaux de chaleur (*a priori* alimentés par bois énergie et cogénération biogaz), mais les moyens de production semblent insuffisants en fin de période.
 - **Tertiaire, industrie** : répartition disponible pour 2008, mais pas d'hypothèses d'évolution
 - **Agriculture** : aucune indication de répartition, on l'a donc supposée identique au résidentiel
- La production de bois énergie ne semble pas cohérente avec la demande, tout comme le gaz renouvelable pour la mobilité

8.3.2. Production

- Ambiguïté sur la filière « déchets cogénération », est-ce de la cogénération de biogaz ou de l'incinération de déchets ?

8.4. Hauts de France

8.4.1. Demande

- Pas d'hypothèses chiffrées sur l'évolution des parts de marché des différents vecteurs, nous avons supposé un maintien des proportions récupérées pour 2014 auprès de l'OREGES, aux exceptions suivantes :

- Augmentation de la part solaire thermique et pompes à chaleur, d'après les données de production EnR sur ces deux filières. Ces énergies viennent en remplacement total du pétrole, et en partie du gaz,
- Un objectif d'évolution du parc véhicule est fourni (« Atteindre 7 % de part des véhicules (gaz, hydrogène, bio méthane et électrique) ») mais il n'est pas traduisible en termes énergétiques par vecteur.
- Ambiguïtés sur les vecteurs pour les données OREGES :
 - On a supposé que les consommations « autres » du résidentiel correspondent à la source froide des pompes à chaleur (par comparaison avec les données de production de cette même filière),
 - Nous avons classé la « vapeur » pour l'industrie comme utilisation de chaleur issue de réseaux.

8.4.2. Production

- Il existe une petite production locale de gaz, on suppose qu'elle disparaît d'ici 2040.
- Les objectifs de production d'EnR ne sont fournis qu'à l'horizon 2031. Nous avons donc extrapolé linéairement jusqu'à 2050, aux exceptions suivantes :
 - Eolien, et biomasse stabilisés comme indiqué dans le rapport,
 - Hydroélectricité stabilisée à la valeur de 2031,
 - La hausse du biogaz reste linéaire, mais atteint donc des niveaux très élevés (17 TWh), que l'on a supposé valorisé à 100 % en injection dans le réseau.
- On observe une baisse de la catégorie « biocarburants », avec toutefois une ambiguïté car cette catégorie comprend le BioGNV.
- En l'absence de perspectives sur l'évolution de la production d'électricité à partir de sources fossiles et nucléaires, on suppose une disparition progressive des énergies pétrole et charbon, et un maintien des capacités gaz et nucléaire. La situation actuelle est reconstituée à partir des données régionales du SDES, et de RTE.

8.5. Ile-de-France

Les données reprises ici sont surtout issues du SRCAE de 2012 ; sur lequel s'appuie le SDRIF 2013 (lequel n'est pas très précis sur les aspects quantitatifs). Le SDRIF est en cours de révision.

Une stratégie « énergie-climat » a été réalisée en 2018, avec des objectifs plus ambitieux¹⁸, mais elle couvre plutôt les aspects production d'EnR. Après discussion avec la région, il a été conseillé de tenir compte du SDRIF, qui bien que plus ancien, est le plus proche équivalent des SRADDET des autres régions.

8.5.1. Demande

- Hypothèses d'évolution de la demande pour chaque secteur disponible dans le SRCAE aux horizons 2020 (d'après directive « 3x20 »), et 2050 (« facteur 4 »).
- Concernant la répartition des vecteurs :
 - Quelques hypothèses sont disponibles pour les secteurs résidentiel & tertiaire jusqu'en 2020, mais pas totalement détaillées. Nous avons supposé une baisse du fioul et une augmentation des réseaux de chaleur et du bois, en compensation de l'augmentation des usages électriques (hypothèse cohérente avec évolution en 2015 d'après données OREGES - ROSE). Les tendances ont ensuite été prolongées jusqu'à 2050.
 - Pas d'hypothèses d'évolution des vecteurs pour les autres secteurs (industrie, transport & agriculture), nous avons donc supposé une stabilité.
 - Pas de chaleur environnement comptabilisée dans la consommation, nous l'avons donc récupérée depuis les données de production (cf. ci-dessous).

¹⁸ Diminuer de moitié la dépendance aux énergies fossiles et au nucléaire de l'Île-de-France en 2030 par rapport à 2015, atteindre 40 % de taux d'EnR dans la consommation finale, et « tendre » vers une région 100 % EnR en 2050.

- La catégorie « Bois/EnR » est ambiguë, nous l'avons assimilée au bois pour les secteurs résidentiel & tertiaire, et aux agrocarburants pour le secteur transport.
- NB : D'après les données 2015 du ROSE (outil en ligne ENERGIF), les objectifs de réduction de la consommation semblent largement non respectés... C'est un biais fréquent des exercices de prospective trop anciens.

8.5.2. Production

- Pas de perspective sur l'évolution de la production de pétrole, on suppose diminution à 0 en 2040.
- Prospectives EnR parfois en énergie primaire, d'autres fois en énergie finale (avec le plus souvent de l'énergie finale).
- Biomasse : il n'y a qu'un chiffre de potentiel 2020, nous avons donc supposé un maintien.
- Biogaz : *a priori* valorisé totalement en cogénération (à date du SRCAE, la technologie biométhane n'était pas encore très répandue). Seule la partie électrique est chiffré, nous avons donc déduit la partie chaleur de la partie électrique, avec des hypothèses de rendement.
- Production d'électricité d'origine fossile (centrales thermiques) peu détaillée
 - Pour le charbon et fioul nous avons repris les chiffres RTE pour 2015, avec une diminution progressive,
 - Pour le gaz naturel, nous avons supposé qu'il s'agit exclusivement de cogénération et avons recalculé la production à partir des chiffres d'injection de chaleur sur réseau, en supposant un maintien de la capacité entre 2020 et 2050.
- Déchets (UIOM) : peu clair s'il s'agit que de cogénération, le ratio électricité vs. chaleur étant assez faible. Il y a par ailleurs une ambiguïté sur les chiffres, qui font parfois apparaître seulement la part renouvelable (50 %).
- Chiffres sur production fossile pour réseau de chaleur en énergie primaire seulement, et jusqu'à 2020. Nous avons supposé un maintien jusqu'en 2050 (avec possible réajustement à la baisse pour suivre l'évolution de la baisse de consommation).
- Chiffres solaire thermique & source froide des pompes à chaleur (évalués avec un COP de 3) transmis à la consommation du secteur résidentiel.

8.6. Normandie

8.6.1. Demande

- Trajectoire de baisse simplifiée (-27 % en 2030 et -50 % en 2050 par rapport à 2010), sans précision sur la répartition par vecteurs, ni de ventilation par secteurs.
- Nous sommes donc repartis des données régionales du SDES, avec un maintien des parts de marché des différents vecteurs. Nous ne disposons toutefois pas de chiffres de source froide des pompes à chaleur avec cette méthode (la partie solaire thermique a revanche pu être déduite des données de production EnR). Une alternative serait de partir des données OREGES (ORECAN).
- La branche énergie de l'industrie représenterait de l'ordre de 25 % de la consommation finale mais elle ne figure pas dans les données régionales. C'est un point qui mériterait d'être affiné.

8.6.2. Production

- Pas d'objectifs de production renouvelable au-delà de 2030, et jusqu'à cette échéance, les projections par filières suivent une évolution linéaire alignée sur l'objectif national de 32 % de part d'EnR dans la consommation finale, repris tel quel pour la région Normandie mais compris comme simple ratio prod EnR primaire / consommation finale (le résultat réel est donc en deçà). Nous avons poursuivi cette logique à l'échéance 2050 (extrapolation linéaire).
- En l'absence d'hypothèses sur la production d'électricité à partir de charbon, nous nous sommes alignés sur la LEC 2019 (fermeture d'ici 2022).

8.7. Occitanie

Le rapport Occitanie, bien qu'intitulé « Occitanie 2040 », s'appuie pour sa partie énergétique sur un scénario de prospective à l'horizon 2050, visant un objectif de « région à énergie positive ».

Les données issues de ce scénario suivant de façon assez proche le cadre méthodologique proposé, nous n'avons pas eu de difficultés majeures sur la récupération des données.

Quelques points de vigilance néanmoins :

- Le caractère « énergie positive » de la région est évalué selon un « taux REPOS » qui correspond au ratio production EnR primaire / consommation finale. Ce ratio affiche certes une valeur de 113 % en 2050, mais la formule officielle (tenant compte des problématiques de vecteurs) reste en deçà de l'objectif de 100 %, à 78 %.
- La méthodologie de comptabilité du transport suit une approche gravitaire, qui bien que compréhensible du point de vue de la responsabilité politique, peut poser des problèmes d'agrégation au niveau national (les autres régions fonctionnant plutôt selon la logique OREGES qui est majoritairement cadastrale).
- Le scénario semble prévoir un déficit de production de chaleur sur les réseaux par rapport à la demande.

8.8. Pays de la Loire

En l'absence de SRADDET (dont la publication est repoussée à fin 2020), nous sommes repartis des données issues SRCAE.

8.8.1. Demande

- Une baisse de consommation est exprimée pour chaque secteur jusqu'en 2020, en revanche la baisse pour 2050 est exprimée au global. Nous avons donc supposé une baisse au pro rata pour chaque secteur.
- En l'absence d'hypothèses d'évolution des vecteurs, celle-ci a été récupérée des données 2016 de l'AASQA, en supposant un maintien de leurs proportions respectives dans le temps. Les consommations de chaleur environnements ont été reprises des données de production EnR (solaire thermique & source froide PAC), et affectées au secteur résidentiel.

8.8.1. Production

- Projets de production d'électricité à partir de biomasse (appel d'offre CRE3) : nous avons repris la capacité installée des projets CRE en cours ou prévue (30,9MWe), en supposant leur maintien dans le temps.
- La centrale à charbon de Cordemais est supposée arrêtée d'ici 2022, conformément à la LEC 2019.

8.9. Sud

Le SRADDET de la région Sud (Provence-Alpes-Côte-d'Azur) s'appuie sur le précédent SRCAE, remis à jour.

8.9.1. Demande

- Les objectifs de réduction de consommation ne sont exprimés pour chaque secteur de demande qu'en énergie primaire. Les objectifs de réduction en énergie finale sont, eux, donnés de façon globale. Nous sommes donc repartis de la répartition sectorielle de la demande en 2012 (d'après données de l'AASQA - AtmoSUD), à laquelle nous avons appliqué les baisses sectorielles en énergie primaire, réajustées pour retomber sur des énergies finales.
- Quelques adaptations ont dû être effectuées sur les données issues d'AtmoSUD en cas d'ambiguïté :
 - « Autres non renouvelables » : combustible gazeux (de récupération) pour l'industrie,
 - « Autres EnR », affectations différentes selon le secteur : source froide PAC pour le résidentiel et l'agriculture, carburant liquide pour le transport, combustible liquide pour l'industrie,
 - Le secteur de consommation « déchets » a été intégré à l'industrie.

- En l'absence d'hypothèses d'évolution sur la répartition des vecteurs, on suppose un statu quo... sauf pour transport :
 - Augmentation de la part GNV à 1200 GWh en 2023 (cf. SRADDET), puis évolution linéaire,
 - Augmentation progressive de la mobilité électrique à 30 % en 2050.
- La consommation de solaire thermique est récupérée des chiffres de production du SRADDET, et affectée au secteur résidentiel, en remplacement progressif de l'électricité (mais il s'agit uniquement du solaire collectif, il manque les chiffres en individuel).
- La consommation de source froide PAC est également récupérée des chiffres de production, mais uniquement pour l'année 2015 (et par la suite la proportion de ce vecteur est supposée constante dans la consommation finale), car sinon l'objectif de production finit par rejoindre la consommation finale totale du secteur résidentiel !
- Par soucis de cohérence avec les autres régions qui ne la font pas figurer, nous avons choisi de ne pas inclure les consommations de la branche énergie de l'industrie.

8.9.2. Production

- La centrale électrique de Gardanne est jugée convertie intégralement à la biomasse d'ici 2022 (cf. LEC 2019, et confirmé par une discussion avec la région).
- Les données RTE indiquent que la production thermique fioul a fortement chuté à partir de 2018, on table donc sur une disparition également à l'horizon 2022.
- En l'absence d'hypothèses sur le mode de valorisation du biogaz, nous avons supposé une répartition à 50 / 50.
- Sur la production d'énergie à partir d'incinération des déchets, nous avons supposé un maintien de la capacité actuelle (capacité 2015 déterminée à partir des données RTE et SNCU), en l'absence d'objectifs SRADDET.
- Réseaux de chaleur : en l'absence d'informations sur les moyens de production, les données SNCU les plus récentes ont été reprises, sans hypothèses d'évolution, sauf pour la biomasse qui est, elle, quantifiée dans le SRADDET.

9.

Annexe 3 : Etat d'avancement des SRADDET

Les SRADDET doivent passer par 3 étapes :

- Arrêt du projet de SRADDET voté par le Conseil Régional, suivi d'une consultation publique et d'une saisine de l'Autorité Environnementale.
- Adoption du SRADDET par le Conseil Régional, après éventuelles modifications prenant en compte les retours de la phase de consultation publique.
- Approbation par la préfecture, sous 3 mois.

A date (24 août 2020), le statut d'avancement connu est le suivant (pour rappel la Corse et l'Île-de-France ne sont pas concernés par la publication d'un SRADDET) :

Région	Statut	Date
Auvergne-Rhône-Alpes	Approuvé	10-avr-20
Bourgogne-Franche-Comté	Adopté ?	25-26 juin 2020
Bretagne	Arrêté (adoption fin 2020)	28 novembre 2019
Centre-Val de Loire	Approuvé	04-févr-20
Grand Est	Approuvé	24-janv-20
Hauts-de-France	Approuvé	4-août-2020
Normandie	Approuvé	02-juil-20
Nouvelle-Aquitaine	Approuvé	27-mars-20
Occitanie	Arrêté (adoption fin 2020)	19-déc-19
Pays de la Loire	Projet non publié	
Provence-Alpes-Côte d'Azur	Approuvé	15-oct-19

Tableau 8 – Etat d'avancement des SRADDET

10.

Annexe 4 : Description de l’outil PRES

L’outil croise les énergies nécessaires pour satisfaire les besoins finaux du territoire, en mobilisant prioritairement les ressources locales, en modélisant de manière simplifiée les principales transformations entre vecteurs énergétiques ainsi que les pertes dans les réseaux de transport et distribution, et en équilibrant le bilan en faisant appel le cas échéant à des importations ou des exportations.

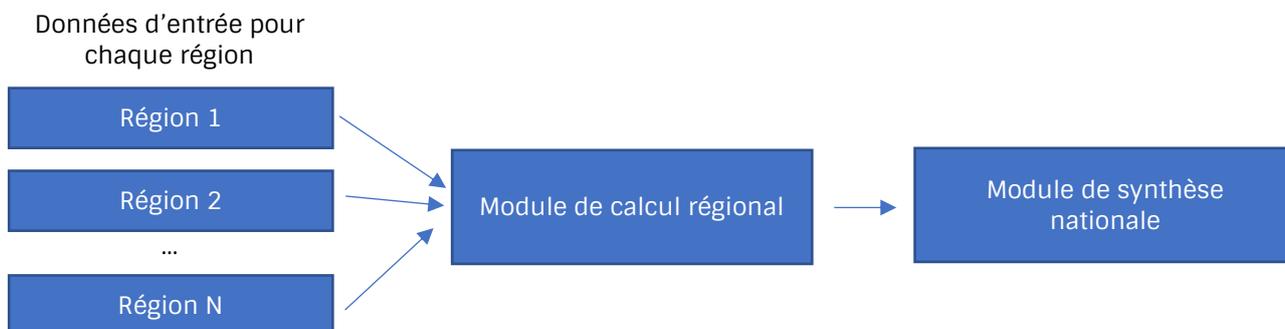
Les ressources considérées sont soit des ressources primaires, soit des ressources issues de celles-ci, après une première transformation : ainsi, la biomasse liquide prise en compte correspond à la production locale d’agrocarburants, et n’est donc pas stricto sensu la biomasse primaire dont ils sont issus. De même le biogaz correspond à la production nette en sortie des digesteurs et non à la biomasse primaire dont il est issu. Ces choix de comptabilisation ont été déterminés notamment par les grandeurs usuellement disponibles dans les statistiques.

Cet outil n’est pas un outil de prospective complet, il lui manque notamment des éléments de calcul en amont pour effectuer des hypothèses sur l’évolution de la demande en énergie. Il a plutôt pour vocation de vérifier la cohérence interne des trajectoires régionales, et la compatibilité avec les trajectoires nationales, sur les principaux indicateurs.

10.1. Organisation générale

L’outil se compose de différents tableurs qui communiquent entre eux :

1. Un module de calcul régional qui effectue les bilans énergétiques de chaque région en croisant les données de consommation et de production, et calcule des indicateurs.
2. Un fichier de saisie de données pour chaque région, qui va alimenter le module régional.
3. Un module de synthèse nationale, qui va agréger le résultat des calculs effectués dans le module régional.



Dans les paragraphes suivants, nous allons détailler le fonctionnement de ces différents éléments.

10.2. Données d’entrée régionales

10.2.1. Données générales

Pour chaque région, on définit les valeurs de référence utilisées pour le calcul de certains indicateurs de réduction :

- Consommation d’énergie finale en 2012, hors industrie de l’énergie¹⁹.
- Consommation d’énergie primaire fossile en 2012.

¹⁹ cf. Annexe 1 de <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/data-lab-64-bilan-energetique-france-2018-janvier2020.pdf>

- Emissions de GES directes issues de la combustion d'énergies fossiles en 1990 (cette donnée n'étant le plus souvent pas disponible au niveau régional, elle a dû être reconstruite à partir de séries historiques).

10.2.2. Production par filière

Les perspectives de production sont ensuite déterminées par filières :

- Production (extraction) d'énergies fossiles sur le territoire : charbon, pétrole et gaz naturel.
- Production de bioénergies : biomasse solide (tous types confondus), biomasse liquide (agrocultures), gaz renouvelable (biométhane issu de biogaz).
- Electricité primaire produite par des sources renouvelables : géothermie haute température, hydroélectricité, énergies marines (hors éolien), éolien (onshore et offshore) et solaire PV.
- Electricité produite par centrales thermiques sans cogénération : nucléaire, charbon, fioul, gaz naturel, biomasse solide.
- Electricité et chaleur produites par centrales à cogénération : charbon, fioul, biogaz, gaz naturel, biomasse solide et déchets.
- Chaleur produite sur réseaux de chaleur : chaleur fatale, géothermie, déchets, biomasse solide, gaz naturel, fioul, charbon. Attention, les valeurs de production de chaleur entrées sont en réalité des **productibles** (production maximum possible), car les productions réelles vont être calculées automatiquement lors des calculs d'équilibre offre / demande des réseaux de chaleur (voir paragraphe 10.3.2.2.3 plus loin).
- Conversions énergétiques : production d'hydrogène par électrolyse, et de méthane par pyro-gazéification et méthanation d'hydrogène.

Les valeurs sont fournies en GWh/an, pour chaque année de l'exercice. Dans le cas des filières productrices de chaleur et d'électricité, une aide à la saisie (facultative) permet de reconstituer les valeurs en énergie, à partir de chiffres de capacité installée (MW), de facteurs de charge (%) et de rendements de conversion le cas échéant (%). Les rendements restent des données obligatoires pour les filières de conversion d'une énergie primaire vers un vecteur secondaire (électricité et/ou chaleur).

Pour ce qui est des filières productrices d'électricité, des valeurs par défaut fournies par RTE sont proposées pour l'année de démarrage, mais peuvent être modifiées manuellement. Idem pour les filières de production de chaleur sur réseaux de chaleur, avec des chiffres issus des rapports SNCU.

10.2.3. Consommation finale

Au niveau des usages de l'énergie, six grands secteurs sont considérés :

- Résidentiel
- Tertiaire
- Industrie
- Transport
- Agriculture (et pêche)
- Industrie de l'énergie

Optionnellement, les consommations non énergétiques de l'industrie peuvent être intégrées dans le bilan.

Dans chaque secteur, la consommation finale de chaque famille de vecteur doit être entrée pour chaque année (en GWh/an), selon le type d'énergie que le secteur est susceptible de consommer :

	Résidentiel	Tertiaire	Transport	Industrie	Agriculture	Secteur énergie
Electricité						
Carburants gazeux méthane						
Carburants gazeux hydrogène						
Carburants liquides						
Combustible solide charbon						
Combustible solide biomasse						
Combustibles liquides						
Combustibles gazeux méthane						
Réseau de chaleur						
Chaleur environnement						

Tableau 9 - Croisement vecteurs / secteurs

L'outil ne calcule toutefois pas ces éléments à partir de déterminants physiques, il existe en effet une grande variété de modèles et de degrés de désagrégation, c'est donc à l'utilisateur de renseigner les tableaux correspondants à partir de ses propres outils.

10.3. Module de calcul régional

10.3.1. Hypothèses nationales

En complément des données régionales définies dans le chapitre précédent, des données et hypothèses sont définies de façon transversale pour toutes les régions :

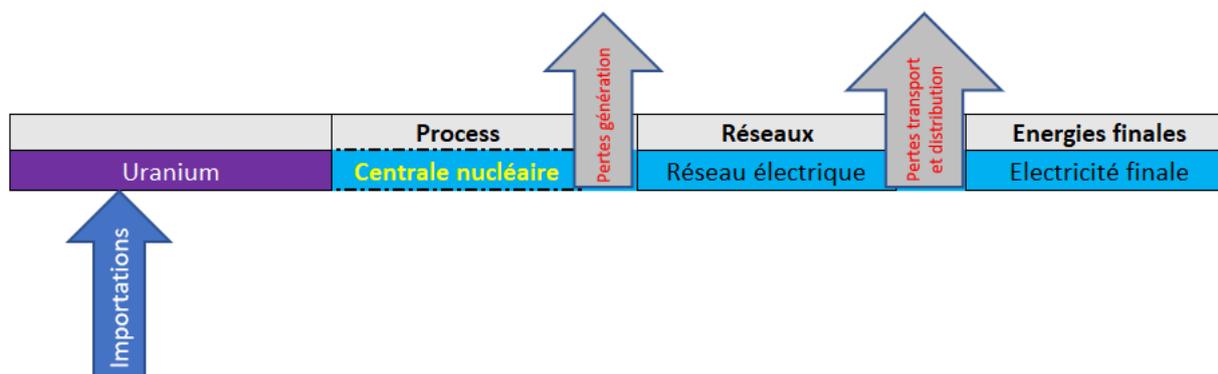
- Pertes des réseaux de transport & distribution (hors chaleur, qui reste régionalisée) : électricité et gaz.
- Part de renouvelables et nucléaire dans l'électricité et le gaz importés (mix national). Cette part est calculée à partir de l'agrégation des productions des différentes régions (et en faisant l'hypothèse que tout import provenant de l'étranger est constitué de 100 % d'énergie fossile).
- Part maximale d'hydrogène autorisée sur le réseau de gaz naturel.
- Hypothèses de rendement de l'électrolyse et de la méthanation (peu susceptibles d'être régionalisés).
- Taux d'agrocarburant dans les carburants liquides (cette valeur peut être « forcée » au niveau régional si elle est disponible).

10.3.2. Calculs d'équilibres offre/demande

Les schémas des paragraphes ci-dessous illustrent les bilans énergétiques des différentes énergies, en schématisant les liens entre énergies primaires (ou dérivées de celles-ci) et finales à travers les réseaux.

10.3.2.1. Energies primaires

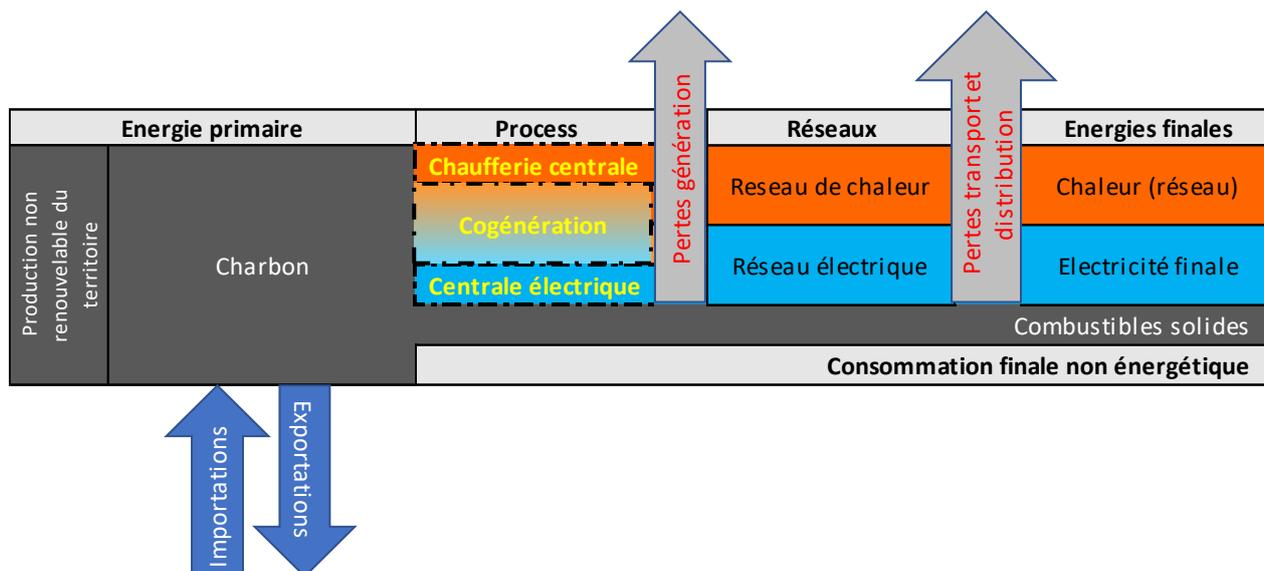
10.3.2.1.1. Uranium



Cette énergie est traitée de façon un peu spécifique par rapport autres énergies (fossiles, renouvelables électriques) : l'électricité générée est considérée par certains indicateurs comme « primaire », à l'exception notable du « taux d'indépendance énergétique », qui prend bien en compte l'uranium.

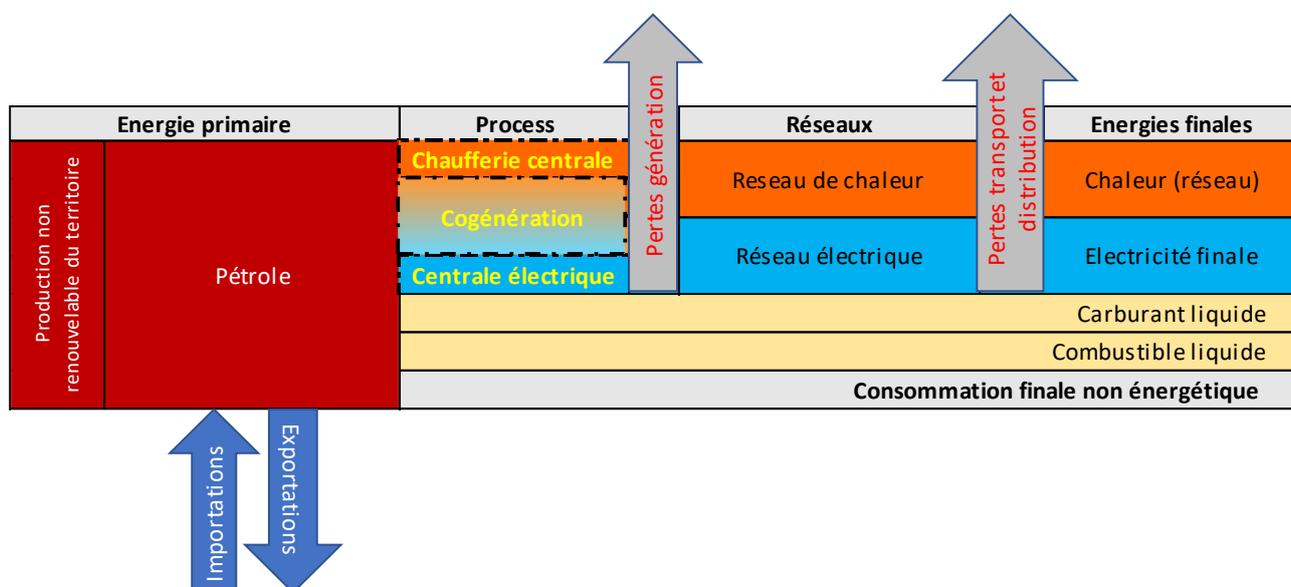
10.3.2.1.2. Charbon

Le charbon peut être utilisé pour la production centralisée d'électricité et/ou de chaleur, et également comme combustible dans les secteurs résidentiel, tertiaire, industrie et agriculture.



10.3.2.1.3. Pétrole

Le pétrole a des utilisations similaires à celles du charbon (production centralisée d'électricité et/ou de chaleur, combustible dans les secteurs résidentiel, tertiaire, industrie et agriculture), auxquelles viennent s'ajouter les usages carburant. Ces derniers sont estimés à partir de la demande totale en « carburants liquides », auxquels on applique le taux d'incorporation d'agroc carburants.



10.3.2.1.4. Gaz naturel

Il est difficile de représenter le bilan du gaz naturel sans montrer l'ensemble du réseau de gaz, schématisé plus loin au paragraphe « réseau gaz », ainsi que les autres productions de méthane renouvelable qui peuvent être injectées dans le réseau.

Les utilisations sont similaires à celles du pétrole : production centralisée d'électricité et/ou de chaleur, combustible et carburant.

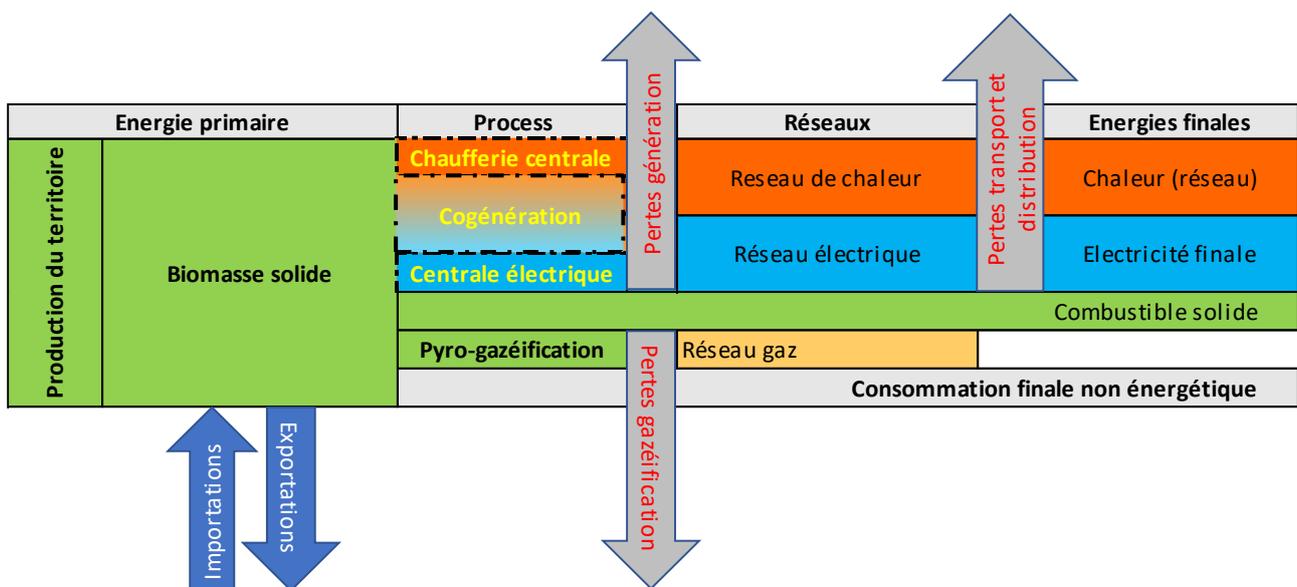
10.3.2.1.5. EnR électrique

Les productions directes d'électricité renouvelable peuvent provenir de géothermie haute température, d'hydraulique, d'énergies marines, d'éolien et de photovoltaïque.

Dans la modélisation simplifiée utilisée dans l'outil, toutes sont considérées comme étant injectées intégralement dans le réseau électrique, indépendamment des problématiques de stockage et d'adéquation offre/demande.

10.3.2.1.6. Biomasse solide

La biomasse solide, comme combustible solide, a des utilisations similaires à celles du charbon, auxquelles vient s'ajouter la pyro-gazéification qui permet de transformer la biomasse en gaz pouvant être injecté dans le réseau de gaz.



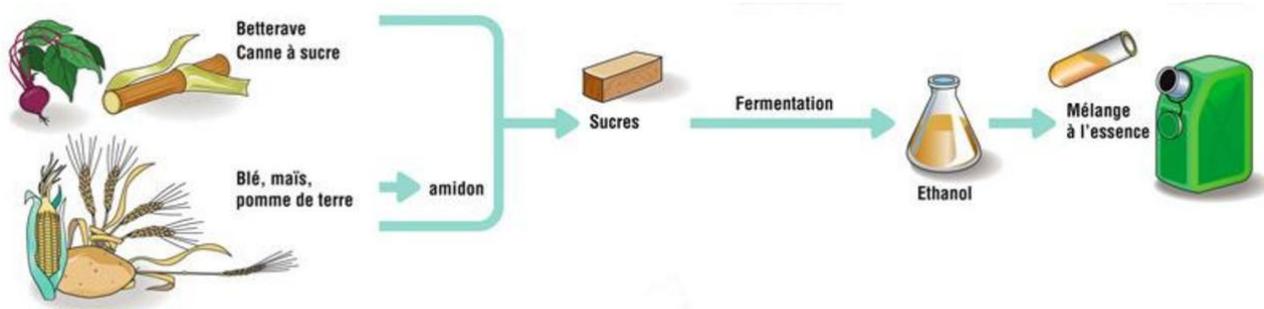
10.3.2.1.7. Biogaz

Deux voies de valorisation existent pour le biogaz :

- Il peut être injecté dans le réseau gaz sous forme de biométhane, comme illustré dans le paragraphe « réseau gaz ».
- Il peut être valorisé sur site par cogénération, pour produire de l'électricité et de la chaleur. Bien que la chaleur générée soit la plupart du temps consommée localement par quelques bâtiments seulement via un mini-réseau de chaleur, on part du principe que cette chaleur alimente un « réseau de chaleur régional » virtuel. Une modélisation de chaque réseau de chaleur indépendant (et de sa demande en chaleur) se révélerait en effet trop détaillée pour notre échelle d'étude.
- La possibilité de valoriser le biogaz directement en carburant méthane (BioGNV) existe techniquement. Cependant, du point de vue de notre modèle simplifié, cette filière est assimilée à une injection de biométhane dans le réseau, suivi d'un soutirage de gaz méthane carburant (GNV), ce qui revient au même du point de vue des équilibres énergétiques offre / demande.

10.3.2.1.8. Agrocarburants

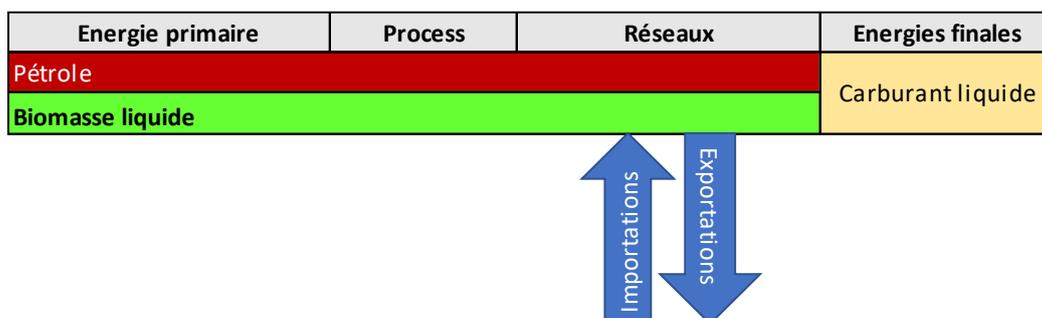
Seuls sont considérés ici les agrocarburants (alcools et esters) les plus courants utilisés en mélange avec les carburants classiques²⁰.



²⁰ Source : <https://www.lci.fr/sciences/les-biocarburants-a-l-ethanol-au-colza-ou-a-l-huile-de-palme-c-est-bon-ou-c-est-mauvais-pour-l-environnement-2090105.html>



Par souci de simplicité, l'utilisation d'agrocarburants purs dans les véhicules n'est pas modélisée ici, car le bilan global ne serait pas modifié.



10.3.2.1.9. Chaleur environnement (solaire thermique et source froid PAC)

Deux énergies viennent compléter le bilan énergétique. Il s'agit du solaire thermique, utilisé directement au niveau des différents secteurs, et de la chaleur prise par les pompes à chaleur sur leur source froide.

Pour le solaire thermique, nous n'avons pas intégré dans le modèle de production centralisée qui serait raccordée sur des réseaux de chaleur, cette technique étant pour l'instant complètement marginale, en tout cas en France.

Les sources froides fournissant la majeure partie de l'énergie délivrée par les pompes à chaleur peuvent être l'air extérieur (aérothermie), des nappes d'eau souterraines ou directement la chaleur du sol (appelée abusivement « géothermie » très basse énergie)

Pour la bonne complétude du bilan énergétique, ces deux sources sont également comptabilisées dans le bilan primaire avec une adéquation parfaite entre consommation et production.

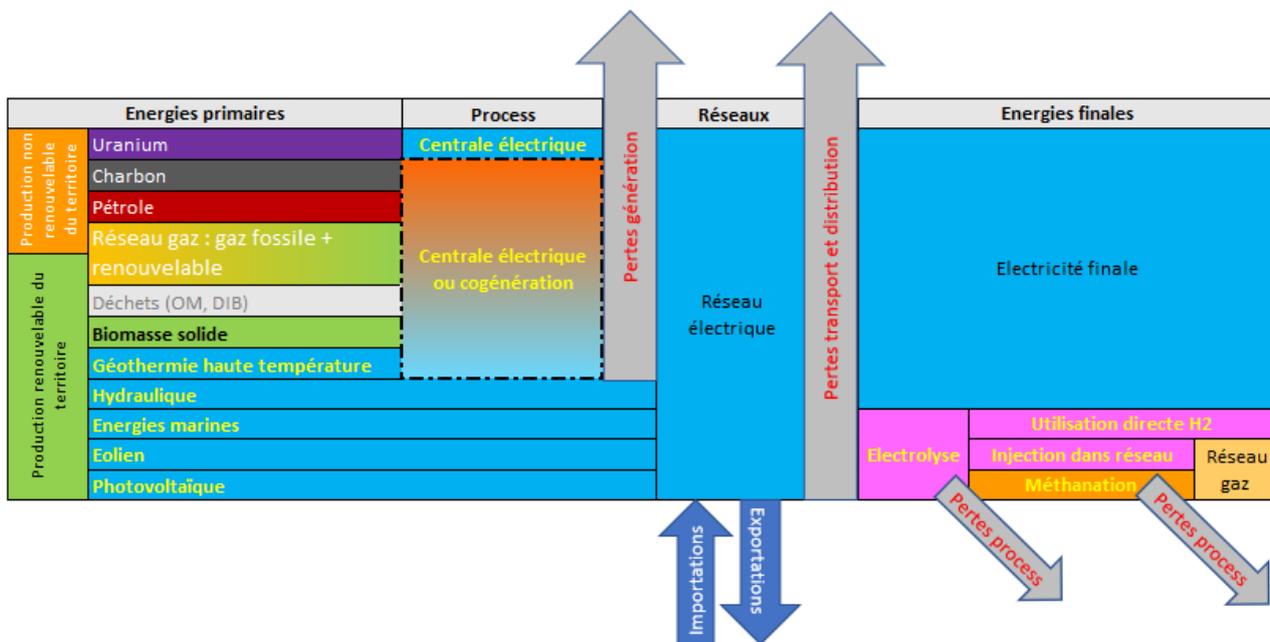
10.3.2.2. Réseaux

Les réseaux occupent une place centrale dans la transition énergétique, permettant la mutualisation des productions entre les différents usages et les différents usagers. Ces réseaux ne sont pas indépendants, mais interconnectés à travers des transformations énergétiques.

10.3.2.2.1. Réseau électrique

Le réseau électrique reçoit de l'énergie provenant de centrales électriques ou de cogénérations alimentées par des énergies renouvelables ou non présentes sur le territoire, ainsi que les productions renouvelables directes du territoire (les 5 dernières sur le schéma suivant).

L'électricité est utilisée soit directement au niveau final, soit est utilisée (particulièrement les excédents de productions renouvelables) pour produire de l'hydrogène par électrolyse, dont une partie peut être utilisée directement par exemple dans l'industrie ou dans les transports, et le reste est transformé en méthane par le procédé de la méthanation pour être injecté dans le réseau gaz.



L'équilibre du système est obtenu par des échanges imports/exports avec les territoires voisins. En première approximation, on ne prend pas en compte les problématiques d'équilibre horaire de l'offre et de la demande, qui nécessite une modélisation trop fine de la demande et de la production, par rapport aux données disponibles. Il s'agit donc d'une balance nette des imports/exports.

Les importations et exportations ont une incidence sur certains indicateurs, comme le taux d'EnR dans la consommation finale du territoire, et doivent tenir compte de la composition du mix énergétique du réseau extrarégional.

La formule pour la part renouvelable de l'électricité consommée localement est la suivante :

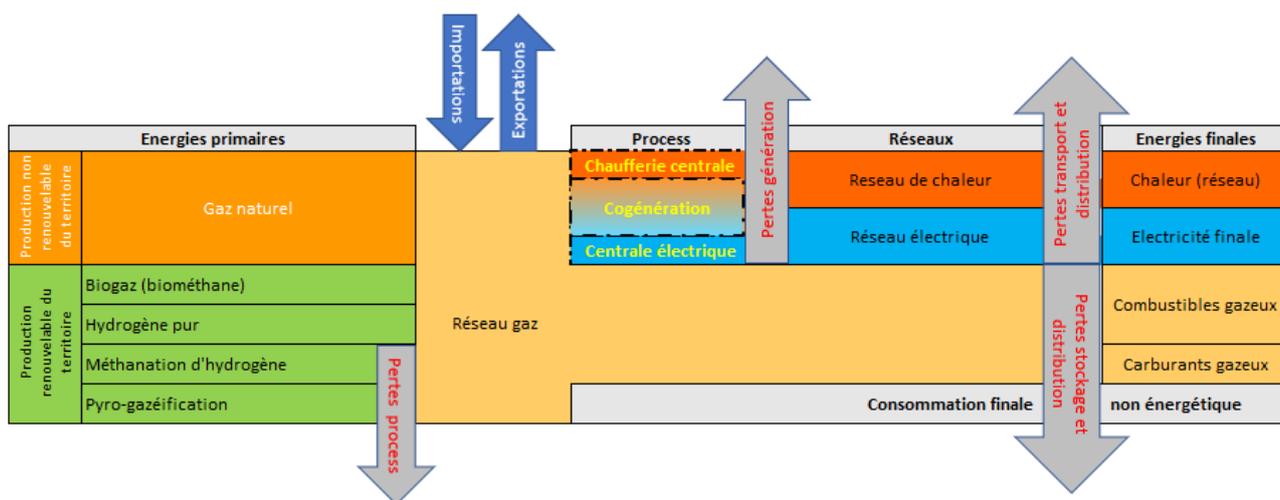
$$\text{Taux d'EnR}_{\text{vecteur}} = \frac{\text{production ENR locale}_{\text{vecteur}} + \text{importation}_{\text{vecteur}} \times \text{taux ENR importations}_{\text{vecteur}}}{\text{consommation finale}_{\text{vecteur}} + \text{exportations}_{\text{vecteur}}}$$

Le taux renouvelable des importations est défini au niveau national, à partir du mix électrique reconstitué par les différents moyens de production régionaux. Si la somme des productions régionales est inférieure à la demande nationale totale, on prend l'hypothèse conservatrice que toute importation auprès de nos voisins européens sera constituée à 100 % d'électricité fossile, ce qui viendra mécaniquement diminuer le taux d'électricité renouvelable circulant sur le réseau national.

10.3.2.2. Réseau gaz

Le réseau gaz reçoit de l'énergie provenant de 4 sources renouvelables (biométhane, hydrogène, méthanation d'hydrogène et pyro-gazéification), ainsi que d'une éventuelle production locale.

Le gaz du réseau peut être utilisé pour la production centralisée d'électricité et/ou de chaleur, comme combustible dans les secteurs résidentiel, tertiaire, industrie et agriculture, et comme carburant dans le secteur des transports.

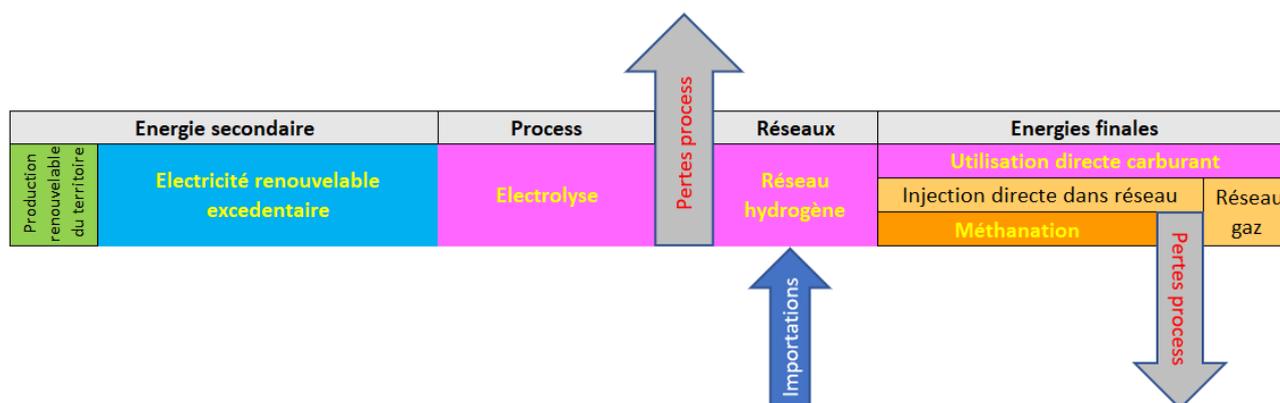


L'équilibre du système est obtenu par des échanges imports/exports avec les territoires voisins. Voir le paragraphe précédent, pour le calcul de la part renouvelable circulant dans le réseau gaz, la logique de prise en compte des imports/exports étant la même que sur le réseau électrique.

10.3.2.2.3. Réseau hydrogène

On considère ici un « réseau » hydrogène a vocation de stockage de l'électricité renouvelable excédentaire, et d'alimentation des nouvelles motorisations à pile à combustible. Ce réseau est donc plus un réseau de stations de distribution de carburant hydrogène, qu'un réseau interconnecté tel que celui emprunté par le gaz méthane, même s'il existe déjà quelques petits réseaux faisant circuler de l'hydrogène.

En l'absence de données conséquentes sur la consommation finale non énergétique, le modèle n'étudie pour l'instant pas l'usage de l'hydrogène en tant que matière pour l'industrie, ni sa fabrication à partir de méthane par vaporéformage (le procédé le plus courant actuellement). A mesure que les régions examineront plus systématiquement les aspects de consommation non énergétique, et que leur prospective de production hydrogène se développera, ce point précis nécessitera d'être mieux pris en compte.



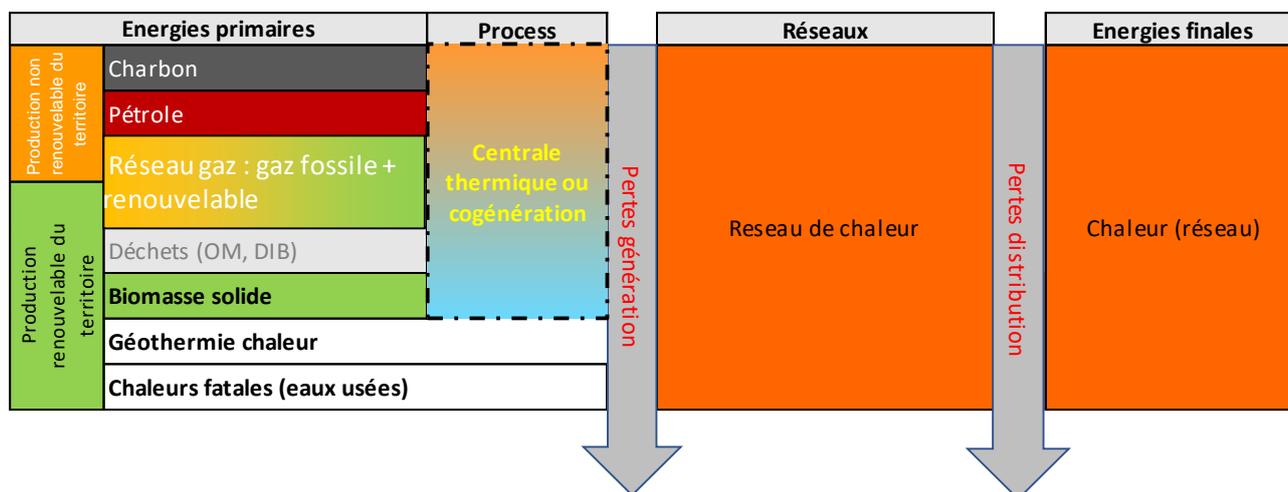
L'hydrogène produit par électrolyse est affecté aux usages suivants (par ordre de mérite décroissant) :

- Utilisation directe en tant que carburant. Si la demande excède l'offre, on importe le complément
- Injection directe dans le réseau de gaz. Le paramètre national de pourcentage d'injection maximum sur le réseau, rapporté au volume global circulant sur le réseau, détermine un plafond pour cette injection.
- S'il reste un excédent après les 2 premières étapes, tout l'excédent est converti en méthane par méthanation, et injecté à son tour dans le réseau de gaz.

- Dans ce modèle il n'y a donc pas d'exportation d'hydrogène (si ce n'est au sein d'éventuelles exportations du réseau gaz).

10.3.2.2.4. Réseaux de chaleur

Les réseaux de chaleur peuvent être alimentés à partir de différentes sources renouvelables ou non, décrites dans le schéma suivant. Par convention, la moitié des déchets est considérée comme renouvelable, et l'autre non.



Les réseaux de chaleur étant territorialisés, on considère en première approximation qu'il n'y a pas d'échanges de chaleur avec les territoires voisins. De ce fait, le modèle réajuste automatiquement les moyens de production de chaleur à la baisse, afin de les mettre en adéquation avec la consommation finale (puisqu'on ne peut exporter de chaleur).

Pour effectuer ce réajustement, l'ordre de mérite décroissant est donc utilisé :

- Chaleur fatale
- Géothermie
- Incinération déchets avec cogénération
- Incinération déchets sans cogénération
- Cogénération biogaz
- Cogénération biomasse solide
- Cogénération gaz méthane
- Chaudière biomasse solide
- Chaudière gaz méthane
- Cogénération fioul
- Chaudière fioul sans cogénération
- Cogénération charbon
- Chaudière charbon

Cet ordre de mérite reflète une préférence pour les moyens peu carbonés. Il s'agit naturellement d'une approximation, car l'arbitrage des moyens de production repose également sur des considérations de coûts, et de satisfaction des pics de demande saisonniers (des moyens de production fossile étant parfois employés en complément de sources renouvelable, de façon ponctuelle, pour couvrir les périodes de forte demande).

NB : lorsqu'un moyen de production en cogénération est « bridé » (voir neutralisé) par ce calcul, on répercute la baisse à la fois sur la consommation d'énergie primaire (combustible), et sur la production d'électricité associée.

11.

Annexe 5 : Comparaison des SRADDET avec le scénario négaWatt 2017

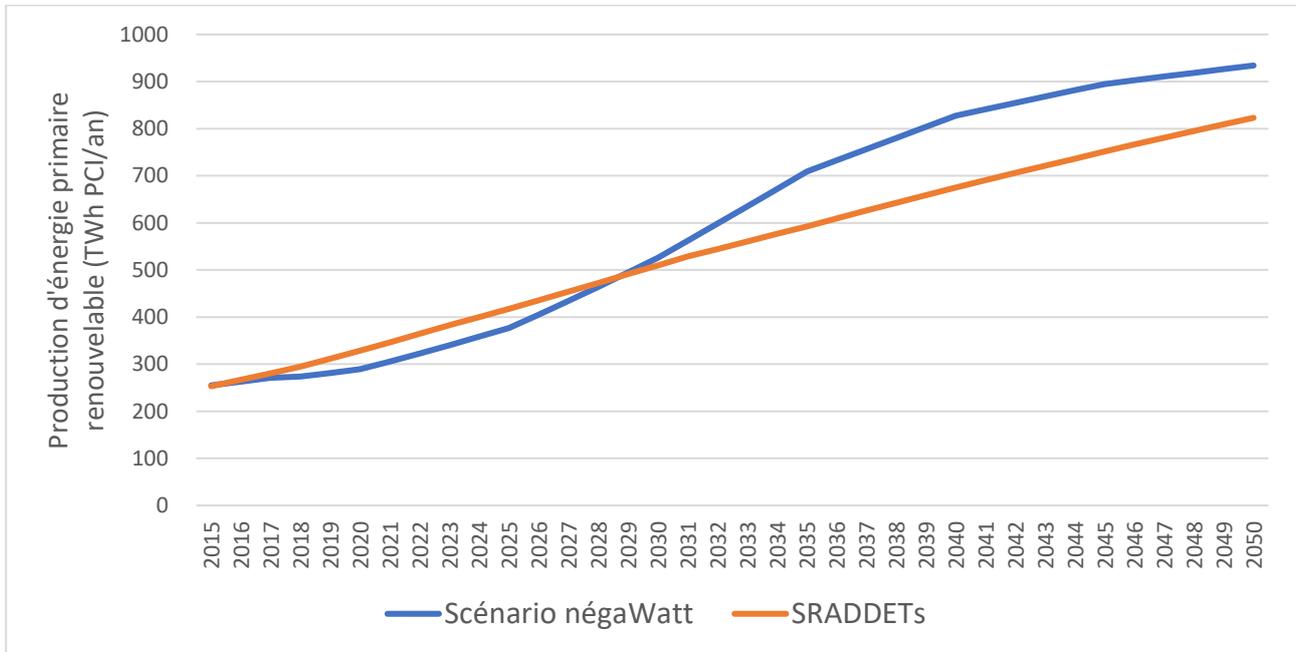


Figure 36 - Evolution de la production d'énergie renouvelable

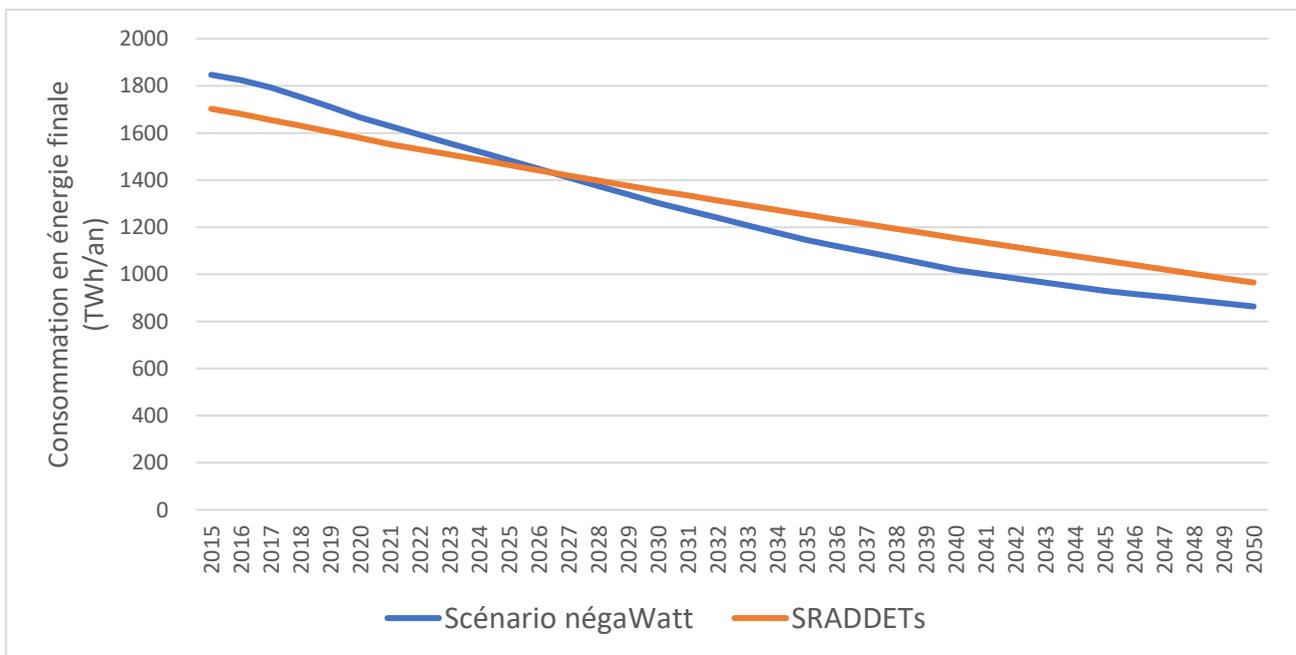


Figure 37 - Evolution de la consommation d'énergie finale

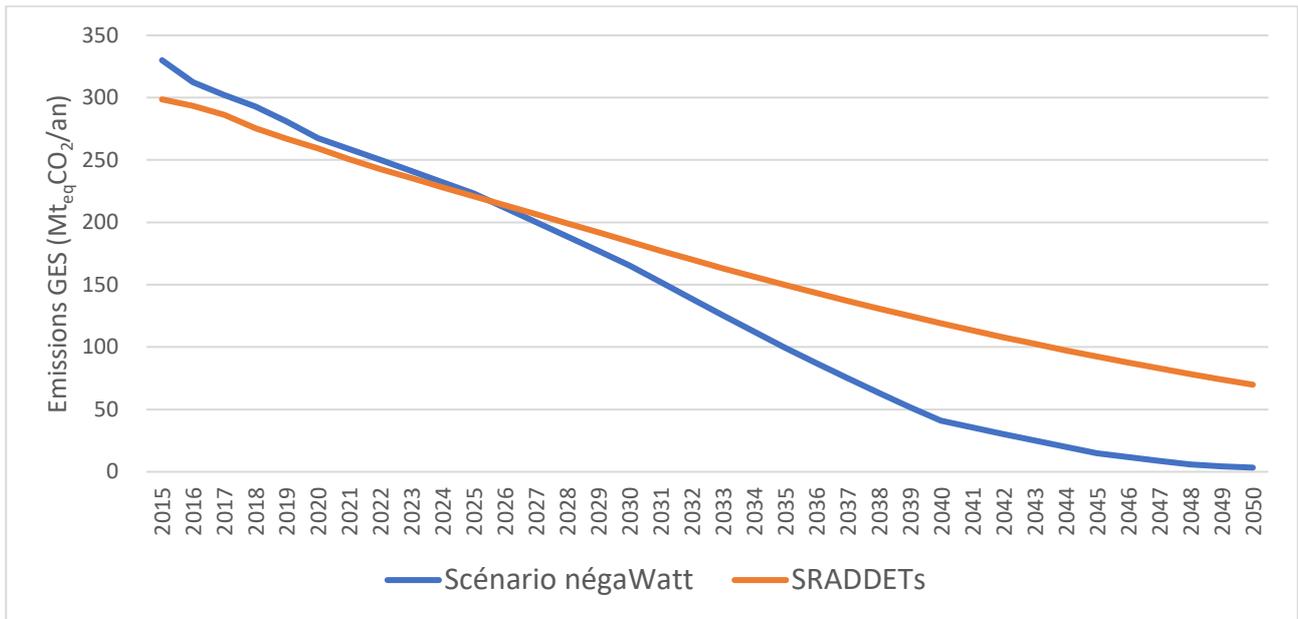


Figure 38 - Evolution des émissions de GES énergie

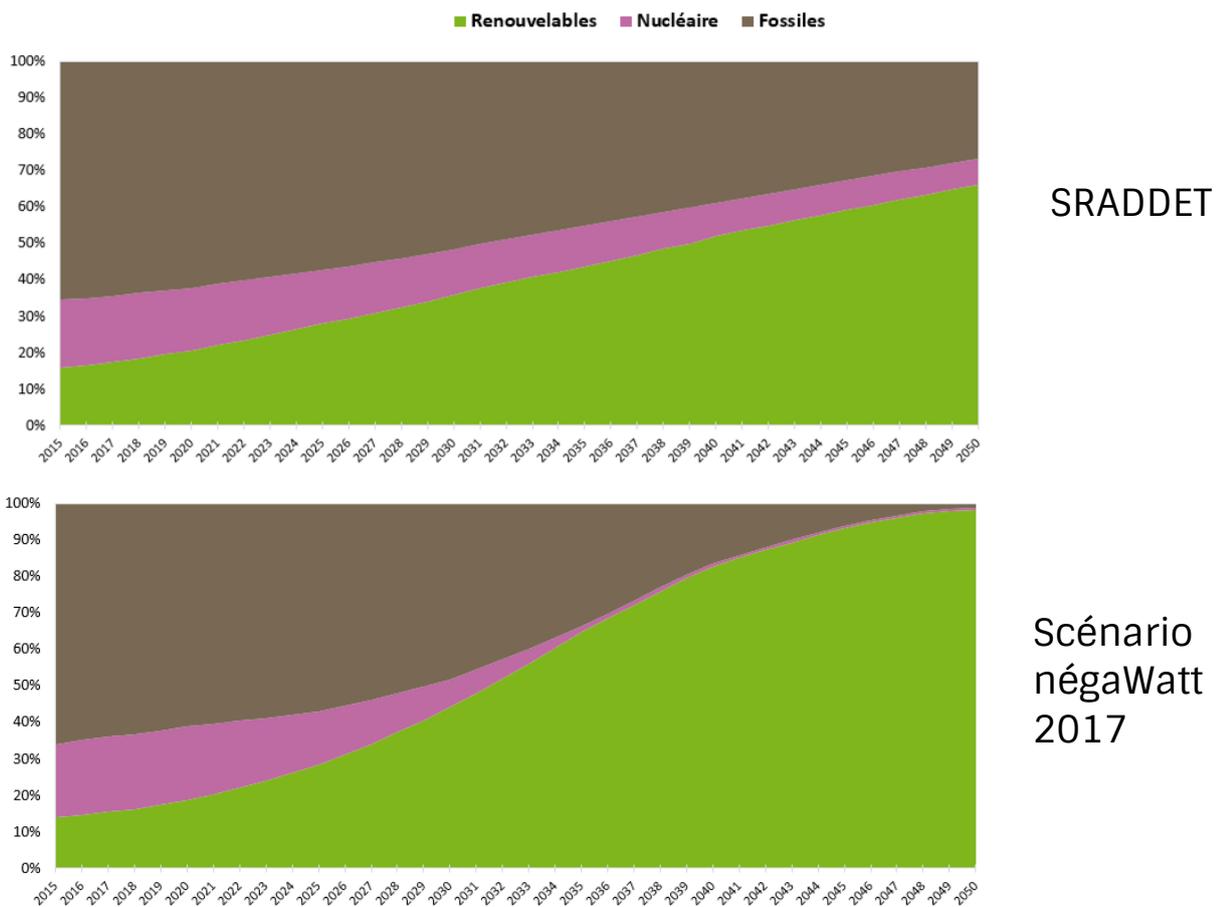


Figure 39 - Composition de la consommation finale d'énergie

Liste des tableaux

Tableau 1 - Taux d'incorporation par défaut des agro-carburants dans les carburants liquides.....	14
Tableau 2 - Hypothèses de rendement par défaut.....	16
Tableau 3 - Comparaison des valeurs agrégées avec des références nationales pour quelques indicateurs..	18
Tableau 4 - Objectifs nationaux issus de la PPE 2020.....	19
Tableau 5 - Hypothèses de facteur de charge pour les EnR électriques disposant d'un objectif dans la PPE..	20
Tableau 6 - Objectifs nationaux de la PPE 2020 pour les EnR électriques, recalculés à partir des capacités installées.....	20
Tableau 7 - Objectifs nationaux issus de la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte, de la Loi Énergie Climat 2019 et de la SNBC2	23
Tableau 8 - Etat d'avancement des SRADDET	60
Tableau 8 - Croisement vecteurs / secteurs	63

Liste des figures

Figure 1 - Exemple de modélisation du système énergétique effectué dans le cadre du scénario négaWatt (diagramme de Sankey – disponible en ligne).....	9
Figure 2 - Modes de calcul des émissions polluantes pour les transports.....	10
Figure 3 - Etat des lieux de la collecte de données.....	12
Figure 4 - Horizon des prospectives	13
Figure 5 - Synthèse des résultats sur les 13 régions.....	19
Figure 6 - Comparaison des objectifs de réduction de la consommation (régions vs. PPE) en 2023.....	21
Figure 7 - Comparaison des objectifs de réduction de la consommation (régions vs. PPE) en 2028.....	21
Figure 8 - Comparaison des objectifs de développement des EnR électriques (régions vs. PPE) en 2023	22
Figure 9 - Comparaison des objectifs de développement des EnR électriques (régions vs. PPE) en 2028	22
Figure 10 - Comparaison des résultats avec les objectifs nationaux en 2030/2035.....	23
Figure 11 - Objectifs régionaux de réduction de la consommation finale d'énergie en 2030 puis 2050 (par rapport à 2012)	24
Figure 12 - Répartition de la consommation en énergie finale brute	25
Figure 13 - Contribution des renouvelables à la consommation en énergie finale, pour les différents vecteurs (GWh)	25
Figure 14 - Comparaison des résultats avec les objectifs nationaux en 2050.....	26
Figure 15 - Taux d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale brute en 2050 (régions anonymisées).....	27
Figure 16 - Comparaison du taux d'EnR dans la consommation d'énergie finale brute vs. le ratio production d'EnR primaire / consommation d'énergie finale en 2050	27
Figure 17 - Comparaison du taux d'EnR dans la consommation d'énergie finale brute vs. taux d'EnR d'origine locale dans la consommation d'énergie finale brute en 2050	28
Figure 18 - Taux d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale brute en 2050 d'origine locale ou non	28
Figure 19 - Balance import / export totale (GWh/an).....	29
Figure 20 - Balance import / export par vecteur relativement à la demande (% de la demande totale du vecteur)	29
Figure 21 - Balance import / export par vecteur en valeur absolue (TWh)	29
Figure 22 - Production d'agrocarburant en 2050 (GWh).....	30
Figure 23 - Evolution de la production électrique nationale par source, vs. consommation (GWh/an).....	31
Figure 24 - Balance import / export par vecteur en exploitant les technologies de conversion (% de la demande totale du vecteur)	31
Figure 25 - Taux de pénétration des EnR électriques non pilotables	32
Figure 26 - Exportations régionales d'EnR en 2030 et 2050 (GWh).....	32
Figure 27 - Exportations régionales d'EnR en 2050 pour 4 vecteurs (GWh).....	33
Figure 28 - Balance import / export d'EnR en 2050 (GWh)	34
Figure 29 - Relations entre les documents de planification existant et le SRADDET (Source : SRADDET Grand-Est - Novembre 2019).....	35
Figure 30 - Articulation des éléments du SRADDET (source : SRADDET Grand-Est - Novembre 2019)	35

Figure 31 - Indicateurs de l'adéquation des règles et leurs recommandations (mesures) en matière de maîtrise de la consommation énergétique.....	38
Figure 32 - Indicateur de l'adéquation des règles et leurs recommandations (mesures) en matière de production d'énergie renouvelable	38
Figure 33 - Indicateur de la précision et l'opérabilité des règles et leurs recommandations (mesures).....	39
Figure 34 - Indicateur du niveau de risque dû aux règles et objectifs contradictoires ou incertains.....	39
Figure 35 - Exemple de décalage de trajectoires régionales et nationales	42
Figure 36 - Evolution de la production d'énergie renouvelable	72
Figure 37 - Evolution de la consommation d'énergie finale	72
Figure 38 - Evolution des émissions de GES énergie.....	73
Figure 39 - Composition de la consommation finale d'énergie	73

Liste des équations

Équation 1 - Formule du taux d'énergie renouvelable dans la consommation finale, d'après directive 2009/28/CE.....	8
Équation 2 - Formule « alternative » du taux d'EnR dans la consommation finale : le ratio production primaire / consommation finale	8
Équation 3 - Formule du taux d'énergie renouvelable d'origine locale dans la consommation finale.....	8